

**DISEÑO DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA SOBRE EL PAPEL LINER
AL INGRESO DEL SINGLE Y DOUBLE GLUE MACHINE EN EMPAQUES
INDUSTRIALES COLOMBIANOS S.A**

ERIC FERNANDO MOSQUERA VELANDIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRONICA
SANTIAGO DE CALI
2009

**DISEÑO DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA SOBRE EL PAPEL LINER
AL INGRESO DEL SINGLE Y DOUBLE GLUE MACHINE EN EMPAQUES
INDUSTRIALES COLOMBIANOS S.A**

ERIC FERNANDO MOSQUERA VELANDIA

Trabajo de pasantía para optar al título de
Ingeniero Mecatrónico

Director De Pasantía
HECTOR FABIO ROJAS
Ingeniero Eléctrico

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRONICA
SANTIAGO DE CALI
2009

Nota de aceptación:

Aprobado por el comité de grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Mecatronico.

Ing. Cesar Marino Rojas
Jurado

Ing. Juan Carlos Perafan
Jurado

Santiago de Cali, 03 de Marzo de 2009

“Dedico este trabajo a Dios por darme salud, vida, amor y protección.
A mis padres por su sacrificio y apoyo. A mi novia por ser la persona que me a
brindado ese apoyo y motivación cada vez que lo necesite”.

ERIC F. MOSQUERA VELANDIA

AGRADECIMIENTOS

Antes de iniciar toda mi gratitud a Dios por proveer a nuestra familia los recursos suficientes y salud para llevar a acabo mi sueño de terminar mi carrera profesional, por darme la sabiduría y el conocimiento necesario para llevar acabo con éxito este trabajo.

Gracias a mi familia por el apoyo constante y la motivación brindada en cada oportunidad. Gratitud a mi madre y padre por su tenacidad y valor que inculcaron en mi, principios y valores que ahora el aprecio es mayor, los llevare conmigo siempre. Les expreso mi gratitud a todos mis profesores los que me enseñaron en especial aquellos que fueron inspiradores como el Ing. Adolfo Ortiz Rosas y el Ing. Héctor Fabio Rojas, a ellos muchas gracias.

CONTENIDO

	Pág.
GLOSARIO	17
RESUMEN	19
INTRODUCCIÓN	20
1. OBJETIVO GENERAL	21
1.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS	21
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	22
2.1.1 Acciones para corregir Up Warp	23
2.1.2 Acciones para corregir Down Warp	24
3. PRODUCCIÓN DE ROLLOS DE PAPEL	25
3.1 BREVE RESEÑA HISTORICA	25
3.2 PRODUCCIÓN DE PAPEL KRAFT	25
4. PROCESO DE LAMINADO DE CARTÓN CORRUGADO	27
4.1 PROCESO DE OBTENCION DE LA FIBRA	27
4.2 DONDE SE HACEN LOS PAPELES	27
4.2.1 El liner	27
4.2.2 El corrugado medio	27
4.2.3 Tipo de flautas	28

4.2.4 Tipo de claves en el single facer 'C'	29
4.2.5 Pruebas de control de calidad para liner y corrugado medio	29
4.3 ADHESIVOS DE ALMIDON	30
4.3.1 Componentes del adhesivo	30
4.3.2 Temperatura de gelatinización	30
4.3.3 Factores que afectan la gelatinización	30
4.3.4 Etapas en la formación de la adherencia	31
4.3.5 Sistema carrier	32
4.3.6 Sistema no carrier	32
4.4 FALLAS POR IRREGULARIDADES DEL CALOR	32
4.4.1 Ampollas	32
4.4.2 Lámina húmeda	32
5. CONSIDERACIONES OPERATIVAS IMPORTANTES	33
5.1 EL PRECALENTADOR	33
5.2 TENSION Y ALINEAMIENTO	33
5.3 TEMPERATURA EN RODILLOS Y PLANCHAS	34
5.4 EL SINGLE FACER	34
5.5 VAPOR Y SISTEMA DE CONDENSADO	35
5.6 DUCHAS GAYLORD ACONDICIONADORAS DEL PAPEL	35
5.7 RODILLOS CORRUGADORES Y DE PRESIÓN	35
5.8 UNIDAD APLICADORA DE GOMA	36
5.9 MÁQUINA ENGOMADORA DOBLE (DOUBLE GLUE MACHINE)	36
5.9.1 Rodillo aplicador	36

5.9.2 Rodillo dosificador	36
5.9.3 Rodillo cabalgador	36
5.10 DOUBLE BACKER	37
5.10.1 Planchas	37
5.10.2 Rodillos de peso	37
5.10.3 Bandas	37
5.11 EL CORTADOR - RAYADOR	38
5.12 EL CUT OFF	39
5.12.1 Cilindros porta cuchillas	39
5.13 DESPERDICIOS FÍSICOS EN UNA CORRUGADORA	40
6. DIAGNOSTICO DEL PROCESO OPERATIVO EN EL CORRUGADOR	41
6.1 PREALISTAMIENTO	41
6.2 EL CORRUGADOR	41
6.3 OPERACIÓN Y MANDO	42
6.4 EMBALAJE	42
6.5 FALLAS EN EL PROCESO	43
7. DIAGRAMAS DE FLUJO DEL PROCESO DE LAMINADO DE CARTÓN CORRUGADO EN EMPAQUES INDUSTRIALES COLOMBIANOS S.A	44
8. ESTUDIO ESTADISTIO DE LAS VARIABLES TEMPERATURA CONTRA VELOCIDAD PARA LA ELABORACIÓN DE CARTON CORRUGADO	45
8.1 INSTRUMENTACION Y MEDICIÓN	45
9. IMPLEMENTACION DEL DISEÑO MECATRONICO	46

9.1 MISION	46
9.2 IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES	47
9.3 LAS ESPECIFICACIONES	48
9.4 BENCHMARKING	49
9.5 EVALUACION DE LOS PRODUCTOS DE LOS COMPETIDORES	52
9.6 PLANTEAMIENTO DE LOS VALORES MARGINALES E IDEALES	53
9.7 CLASIFICACIÓN DEL PROBLEMA	54
9.7.1 Necesidades	54
9.7.2 Especificaciones	54
9.8 DESCOMPOSICION FUNCIONAL	54
9.8.1 Energía	54
9.8.2 Material	55
9.8.3 Información	55
9.9 BUSQUEDA EXTERNA	55
9.10 BUSQUEDA INTERNA	57
9.11 GENERACIÓN DE CONCEPTOS	57
9.12 SELECCIÓN DE CONCEPTOS	60
9.12.1 Criterios de selección	60
10. ARQUITECTURA DE DISEÑO	62
10.1 DISPOSITIVOS	63
10.2 AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL	63
10.3 ESTACIÓN DE INGENIERIA	62
11. PROTOTIPADO	64

12. DISEÑO PARA MANUFACTURA	68
12.1 COSTO DE MANUFACTURA	68
12.1.1 Finales de carrera	69
12.2 TABLA COMPARATIVA DE PROVEEDORES PARA EL SUMINISTRO DE EQUIPOS DE MEDICION Y CONTROL	71
13. IDENTIFICACION Y UBICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICION	78
13.1 PUNTO A	78
13.2 PUNTO B	78
14. ESTRATEGIA DE CONTROL	79
14.1 FUNCIONAMIENTO DEL CONTROLADOR	79
14.2 CONTROLADORES	81
14.3 IDENTIFICACION DE PLANTA (METODO DE DOS PUNTOS)	82
14.3.1 Método de Smith	82
14.3.2 Método de Alfaro	83
14.4 PARAMETROS DEL CONTROLADOR PI	85
14.5 CONTROLADOR DE TRES POSICIONES	87
14.6 CRITERIOS DE OPERACIÓN	89
14.6.1 Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema	92
15. DESARROLLO DE LA INTERFAZ HOMBRE MAQUINA	94
16. CONCLUSIONES	97
17. RECOMENDACIONES	99

17.1 CONTROL DE TENSION	100
17.1.1 La solución	101
17.1.2 Conclusión de tensión	101
17.2 CONTROL DE TEMPERATURA	101
17.2.1 Conclusión de temperatura	102
17.3 SUMINISTRO DE VAPOR	102
17.4 GESTION DE LA PRODUCCIÓN	102
BIBLIOGRAFIA	103
ANEXOS	104

LISTADO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clases de cartón corrugado	28
Tabla 2. Tipos de claves	29
Tabla 3. Desperdicios en planta	40
Tabla 4. Misión del proyecto	46
Tabla 5. Necesidades del cliente	47
Tabla 6. Tabla de métricas	48
Tabla 7. Relación directa entre métricas y necesidades	49
Tabla 8. Benchmarking	51
Tabla 9. Valores entre los competidores	52
Tabla 10. Identificación de los valores marginales e ideales	53
Tabla 11. Características de los PLC's	56
Tabla 12. Conceptos generados	57
Tabla 13. Tamizajes de conceptos	61
Tabla 14. Evaluación de conceptos	61
Tabla 15. Equipos y componentes para el sistema de control	69
Tabla 16. Ventajas/Desventajas de los competidores	71
Tabla 17. Costo del proyecto por medio de Colsein S.A	72
Tabla 18. Clasificación de los controladores	79
Tabla 19. Identificación del Single Facer 'C'	83
Tabla 20. Representación matemática de la planta single facer 'C'	84
Tabla 21. Parámetros del controlador con base a la curva de reacción	85

Tabla 22. Criterios lógicos	90
Tabla 23. Representación de los HMI's	94

LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Defectos de cartón corrugado	22
Figura 2. Esquemático del Single Facer	24
Figura 3. Esquemático del Tripleprecalentador	24
Figura 4. Rollos de papel kraft	28
Figura 5. Precalentador de 36"	31
Figura 6. Single Facer 'C'	34
Figura 7. Corrugadora .SF.C	35
Figura 8. Máquina engomadora doble	37
Figura 9. Double Backer	38
Figura 10. Cuchillo Triplex (cortador - rayador)	39
Figura 11. Cut Off	40
Figura 12. Zona de embalajes de láminas	43
Figura 13. Precalentadores	50
Figura 14. Representación de entradas y salidas del sistema (caja negra)	54
Figura 15. Descomposición funcional del problema	55
Figura 16. Generación de conceptos	58
Figura 17. Combinación de conceptos A	59
Figura 18. Combinación de conceptos B	59
Figura 19. Combinación de conceptos C	59
Figura 20. Arquitectura del sistema	62
Figura 21. Vista lateral del single facer 'C'	64

Figura 22. Vista lateral máquina engomadora doble	65
Figura 23. Diseño 3D del punto de operación	66
Figura 24. P&ID de la red de control	67
Figura 25. Características del PLC M91	77
Figura 26. Características del sensor de temperatura infrarrojos	77
Figura 27. Funcionamiento del controlador	80
Figura 28. Retroalimentación	81
Figura 29. Curva de reacción con base al método de dos puntos	82
Figura 30. Curva de reacción del single facer 'C'	84
Figura 31. Respuesta de la planta frente al PI y esfuerzo de control	86
Figura 32. Esquema del controlador	87
Figura 33. Control de tres-posiciones	88
Figura 34. Medición de la temperatura	89
Figura 35. Señal de reloj	91
Figura 36. Funcionamiento del sistema de arropo automático	92
Figura 37. Pirámide de automatización	99
Figura 38. Montarrollos	100
Figura 39. Porta bobinas automático	101

LISTADO DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Proceso de corrugado global	104
Anexo B. Proceso de corrugado específico	105
Anexo C. Proceso de corrugado específico	106
Anexo D. Cuarto de gomas	107
Anexo E. Cuarto de calderas	108
Anexo F. Cuarto de compresores	109
Anexo G. Subestación eléctrica	110
Anexo H. Datos estadísticos C540 liner interior	111
Anexo I. Datos estadísticos C540 liner exterior.	113
Anexo J. Datos estadísticos C620 liner interior.	114
Anexo K. Datos estadísticos C620 liner exterior	116
Anexo L. Datos estadísticos C790 liner interior	118
Anexo M. Datos estadísticos C790 liner exterior	119
Anexo N. Datos estadísticos C930 liner interior	120
Anexo O. Datos estadísticos C930 liner exterior	122
Anexo P. Especificaciones técnicas pirómetro digital	123
Anexo Q. Especificaciones técnicas sensor de humedad	124
Anexo R. Planos eléctricos del corrugador	125
Anexo S. Lógica programada	128

GLOSARIO

CUCHILLO TRIPLEX: también denominado cortador – rayador (Slitter-Scorer) cuya función es hacer cortes y marcas de dobles (Scores) en forma longitudinal al cartón corrugado a la salida del D.B.

CONTROL ON-OFF: es la forma más simple de implementar un control consiste en mantener la variable controlada por debajo, sobre o por encima de un umbral (Set point) si así lo requiere los requerimientos del sistema (control encendido/apagado).

CUT OFF: el cartón después de ser cortado longitudinalmente en el cortador – rayador es introducido en el cut off, para ser cortado tangencialmente. Su funcionamiento es el de una guillotina giratoria de operación continua, en el que las cuchillas se montan radialmente sobre unos cilindros giratorios.

CYLINDER: máquina para la elaboración de papel que consiste en secar la pulpa de papel mediante una serie de cilindros a temperaturas elevadas.

DOUBLE BACKER: después de que el single face toma adhesivo en la máquina engomadora, se une en forma permanente con el liner inferior al gelatinizarse el adhesivo en el Double Backer. En términos generales el D.B consiste en una sección de planchas calientes y una sección fría de tracción.

DOUBLE GLUE MACHINE: la función de la doble máquina engomadora es aplicar adhesivo a las puntas de las flautas u ondas del single face, en forma controlada, sin deformarlas.

DOWN WARP: enconcamiento del cartón corrugado hacia abajo debido a la alta humedad contenida por el liner externo en proporción al liner interior.

FOURDRINIER: máquina para la fabricación de papel desarrollado por Louis Robert; método que consiste en una malla de alambre en cobre que recibe la pulpa de papel en el proceso de fabricación, que finalmente se convertirá en una continua red de papel.

HIGROSCÓPICO: que tiene higroscopicidad, capacidad de absorber o ceder la humedad; Relativo al higroscopio.

LINER: papel con el cual se forma las caras o tapas que cubren el médium.

MÉDIUM: papel propiamente más liviano que el liner con el cual se hace la onda en el cartón corrugado.

MANIFOLD: es un sistema de tuberías que tiene la finalidad de asegurar el suministro de un gas, que puede ser un solo gas o una mezcla de gases.

PAPEL KRAFT: material de alta resistencia elaborado con fibras largas y cortas para la fabricación de cartón corrugado y otros papeles.

PIRÓMETRO: un pirómetro, también llamado *pirómetro óptico*, es un dispositivo capaz de medir la temperatura de una sustancia sin necesidad de estar en contacto con ella.

PRECALENTADOR: un precalentador, es un cilindro de acero hueco capaz de transferir calor al papel liner a través de un sistema de vapor seco que circula el interior del cilindro a altas temperaturas.

SINGLE FACE: se define como la unión del médium y el liner interno mediante adhesivos naturales o artificiales.

SINGLE FACER: la función primaria de esta máquina es ondular el corrugado medio en unos rodillos en forma de piñones, aplicarle adhesivo a la cresta de las ondas y pegarlo al liner.

SCORES: marcas de dobles que se realizan sobre el cartón corrugado.

UP WARP: enconcamiento del cartón corrugado hacia arriba debido a la alta humedad contenida por el liner interno en proporción al liner exterior.

RESUMEN

La presentación de este proyecto titulado “Diseño del controlador de temperatura sobre el papel liner al ingreso del single y double glue machine en Empaques Industriales Colombianos S.A.” de desarrollo en la planta de corrugado de Empaques Industriales Colombianos S.A Palmira.

Con el estudio del proceso del cartón corrugado, los subprocesos y las máquinas que intervienen durante la elaboración de cartón corrugado, se obtiene una serie de propuestas presentadas a continuación:

- Aplicar la metodología de diseño mecatrónico basado en el diseño concurrente.
- Proponer alternativas de solución al problema que se desea solucionar.
- Diseñar una estrategia de control que se adapte a las exigencias del proceso y entorno.
- Proponer equipos de medición y control que se adapten a las necesidades del problema.

Al terminar con el análisis del problema mediante la utilización del diseño mecatrónico se obtiene una serie de ventajas como son reducción del tiempo de diseño, proponer diferentes alternativas que den solución al problema y conocer de boca del cliente (operarios, ingenieros y supervisores) sus necesidades.

Se encontraron ventajas al momento de elaborar esquemas gráficos y planos de control normalizados para una fácil comunicación y comprensión del problema.

INTRODUCCIÓN

Una planta corrugadora tiene como propósito transformar el papel kraft o blanco en cajas de cartón corrugado y a pesar de ser tan livianas son sumamente resistentes, esto las ha convertido en un empaque ideal para el transporte de bienes manufacturados, incluyendo alimentos. Un empaque fabricado con cartón corrugado se puede decir que es: Resistente a la tensión, resistente al rasgado, resistente al aplastamiento y resistente al doblez.

El cartón corrugado es una combinación de papel liner (que constituye la cara exterior) y de papel médium (que corresponde a la estructura interna). Este último es el responsable directo de la fortaleza característica de éste tipo de cartón; por eso decimos que el elemento fundamental para que las cajas no colapsen en la función primaria para la cual han sido ideadas (la protección) es la integridad de sus flautas (ondas). Estas últimas proveen la fortaleza y la rigidez necesarias frente al aplastamiento, además de la amortiguación adecuada en el momento de la manipulación y la estiba. La primera compañía corrugadora se creó en 1875 bajo el nombre de Compañía Manufacturera Thompson y Norris, Fue la primera compañía comercial en mecanizar el proceso de producción de varios materiales de empaques y cajas sencillas.

En 1973 fue fundada la compañía Empaques industriales Colombianos S.A con el propósito de satisfacer la demanda de cartón corrugado en la Costa Atlántica, con una visión de expandirse a otras regiones de Colombia y llegar a mercados internacionales. En la actualidad existente tres plantas productoras de cartón corrugado ubicadas en las ciudades de Barranquilla, Bogotá y Cali. Los productos que fabrica la compañía son cajas de cartón corrugado regulares y troqueladas en papel blanco, moteado o natural (Kraft), impresas en diferentes estilos, en pared sencilla y doble pared con o sin recubrimiento y en corrugaciones B, C, Doble Pared y E (microcorrugado), divisiones troquelada y particiones. Estas cajas se fabrican de acuerdo con las necesidades del cliente, tomando medidas únicas para cada una de las cajas.

1. OBJETIVO GENERAL

- Diseñar un controlador que regule automáticamente la temperatura de ingreso del papel liner al single facer y la doble máquina engomadora.

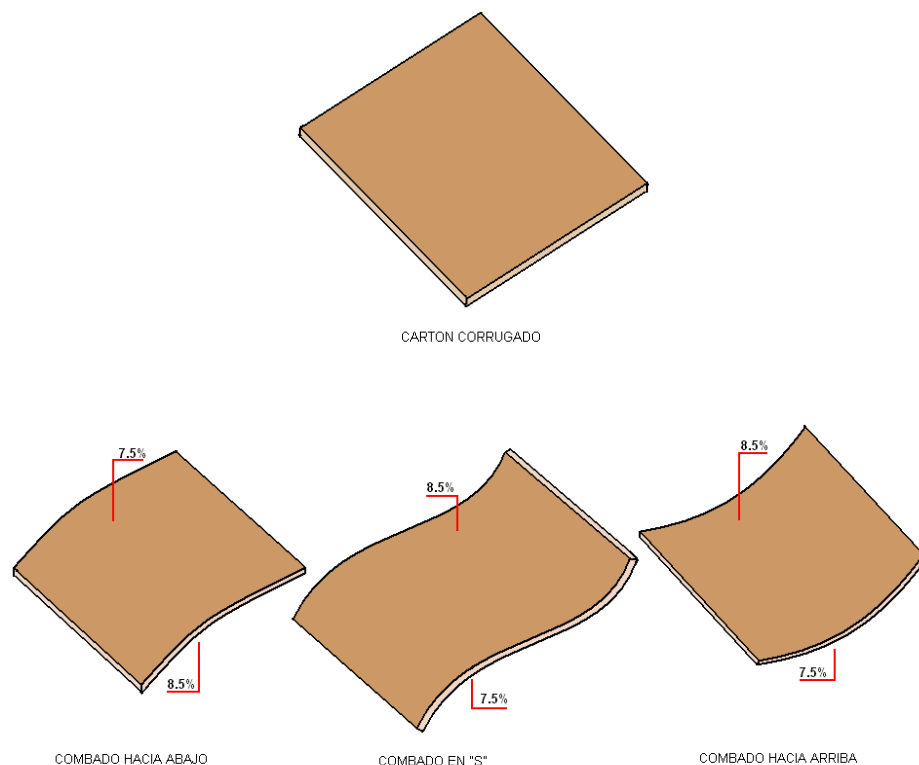
1.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Conocer el proceso de corrugado en Empaques Industriales Colombianos S.A. y cada una de las maquinas que intervienen.
- Crear un diagrama de flujo con el objeto de identificar las entradas y salidas del proceso.
- Realizar un estudio estadístico con el objeto dar seguimiento a las variables que intervienen en el proceso de corrugado y conocer cuál de éstas tiene más influencia sobre el proceso en Empaques Industriales Colombianos S.A.
- Diseñar la estrategia de control más adecuada, con base al estudio realizado en proceso de corrugado.
- Realizar la investigación pertinente sobre los dispositivos de control existentes en la actualidad.
- Diseñar una arquitectura del sistema de control de temperatura automático.
- Identificar el lugar idóneo para ubicar los dispositivos electrónicos que miden la temperatura sobre el papel.
- Elaborar el manual de usuario y capacitaciones al personal.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El papel del cual está fabricado el cartón corrugado se denomina Kraft, constituido por fibras (madera) higroscópicas las cuales son buenas receptoras de agua (humedad), estas fibras tienen la peculiaridad de expandirse a medida que absorben agua hasta tal punto que seguirán absorbiendo agua hasta saturarse.

Figura 1. Defectos del cartón corrugado



El problema más recurrente en el proceso de corrugado de la mayoría de fábricas se refiere al “combamiento” o “encocamiento” del cartón corrugado, debido a las diferencias de humedad entre los liners interno y externo.

El encocamiento se pueden presentar de diferentes maneras: combado hacia abajo, combado en “S” y combado hacia arriba. El combamiento se presenta la mayoría de veces por citar un ejemplo; un liner externo que posea una humedad del 8.5% (en el caso del combado hacia abajo) se contrae más que en comparación que uno que tenga una humedad de 7.5%.

Esto se debe a que las moléculas de agua que penetraron al liner en mayor proporción deja espacios más amplios entre las fibras higroscópicas ocasionando que estas colapsen de manera estrepitosa cuando el liner es sometido al precalentador de 36" en el proceso de secado, dando origen a un combamiento mayor que al liner con 7.5% de humedad. Ver figura 4.

El arte de correr cartón corrugado bien plano implica un balance en la rata de remoción de humedad de los dos liners, así que uno se encogerá o se expandirá más que el otro a medida que el cartón sale del corrugador y se cura.

Consecuencias del combamiento: El cartón combado tiene diversas consecuencias, todas ellas negativas. Impide el apilamiento automático de los pliegos en el extremo de salida de la corrugadora. Esto complica la manipulación del cartón, requiriendo que los pliegos se apilen en grupos alternados, con la esperanza de que el cartón se aplane por su propio peso.

Resulta muy difícil deslizar cartón combado a través de la impresora troqueladora, de manera que produce, malas impresiones, troquelado deficiente, pérdida de tiempo en correcciones, atascamientos y probablemente las cajas resultantes no sean cuadradas, y disminuya la resistencia a la compresión de arriba a abajo

2.1.1 Acciones para corregir el "Up Warp"

- Aumente el arropamiento del single facer en el precalentador de 32" antes de la máquina engomadora (Glue Machine).
- Disminuya el arropamiento del liner exterior sobre el precalentador de 32" antes de la máquina engomadora (Glue Machine)
- Aumente el arropamiento del liner interno sobre el precalentador de 32" a la entrada del single facer.

2.1.2 Acciones para corregir el "Down Warp"

- Aumente el arropamiento del liner del double backer en el precalentador de 32" antes de la máquina engomadora.
- Disminuya el arropamiento del single face sobre el precalentador de 32" antes de la máquina engomadora.
- Disminuya el arropamiento del liner del single face en el precalentador de 32" a la entrada del corrugador.

Figura 2. Esquemático del Single Facer

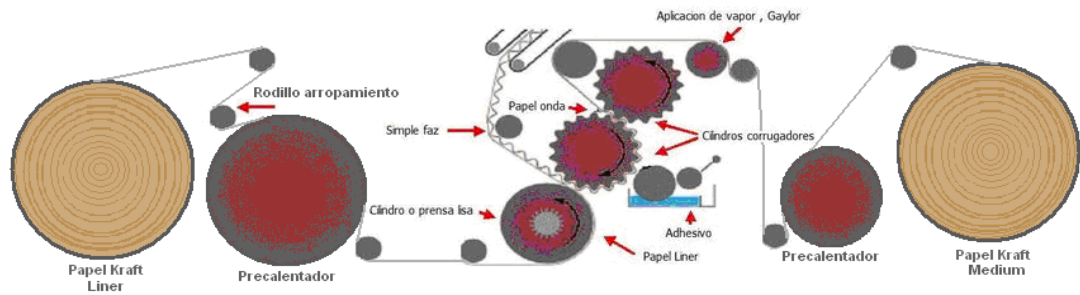
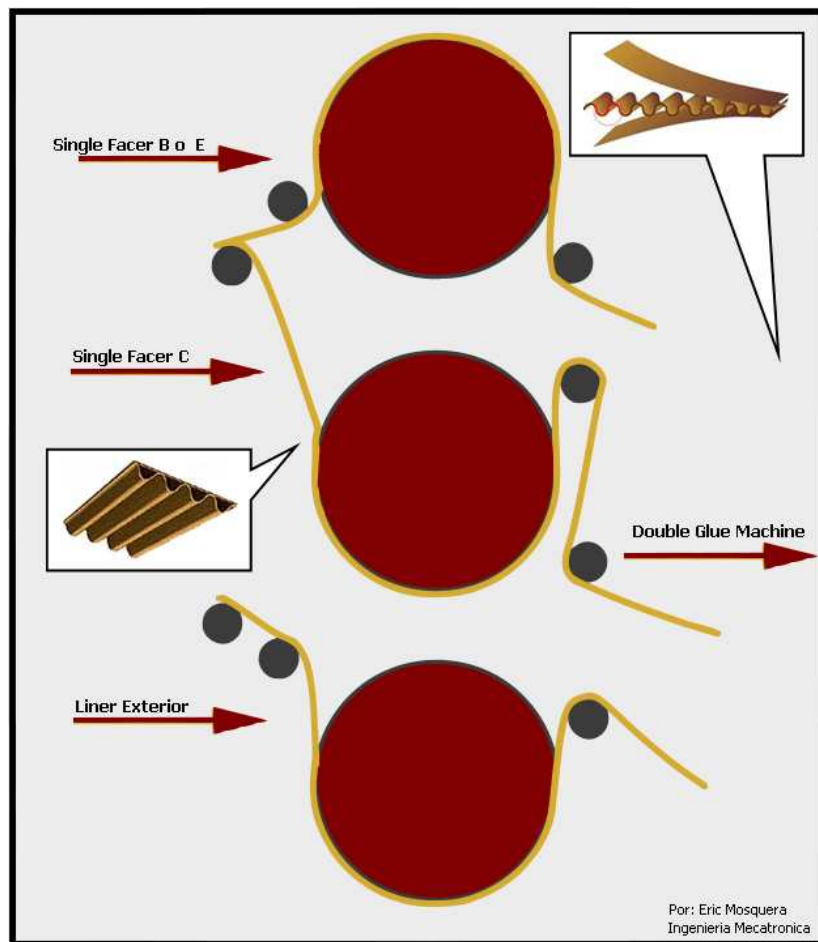


Figura 3. Esquemático del triple precalentador.



3. LA PRODUCCIÓN DE ROLLOS DE PAPEL

3.1 BREVE RESEÑA HISTÓRICA

En 1871 el joven Albert L. Jones, patentó el proceso de corrugado que consistía en producir un papel ondulado que serviría para envolver botellas y frascos. Este material de empaque se producía en un de las máquinas caseras que eran empleadas para corrugar ropa almidonada.

Años después en 1882 y 1897 ya se producía el corrugado de cara simple y doble cara. Pero fue en 1908 que Samuel M. Langston construyó la primera corrugadora moderna en la cual se podía aplicar y controlar las presiones de corrugar el médium y la pegada de las caras.

3.2 PRODUCCION DEL PAPEL KRAFT

Los molinos de papel mezclan la pulpa de madera y la pulpa de desperdicio varia, pero generalmente los papeles liner pueden contener un 60% de fibra virgen y un 40% de fibra larga.

El procedimiento de fabricación consiste en depositar el reciclado y la pulpa de madera en una licuadora enorme llamada pulper.

Una vez obtenida una pasta compacta, esta es sometida a diversos tratamientos mecanicos para separar las fibrillas y las micro fibrillas y el mismo tiempo preparar el largo de la fibra según las necesidades de formación del papel.

La pulpa (pasta) para hacer papel se compone de 96% de agua y 4% de sólidos (fibras). Se transporta desde las operaciones anteriores hasta una batidora donde los pequeños grumos de fibra se reducen y se inicia lo que se llama hidratación de las fibrillas.

La batidora es un tanque ovalado en el cual circula la pulpa alrededor de una tira divisoria en el centro para luego pasar por debajo del cilindro batidor que gira muy cerca de la plancha de asiento; esta operación tiene por objeto romper las fibrillas. Se inicia además la hidratación de las fibrillas, esto es, química y físicamente se combinan con el agua para llegar a estar completamente 'mojadas' y en condición para hidratarse. La membrana alrededor de cada fibra se rompe mientras se va hinchando esto se denomina 'fibrilación'.

En este paso final de la preparación de la pulpa para la máquina, buena parte de las propiedades físicas del papel se obtienen por medio del tiempo de batida y por los aditivos químicos que se agregan en esta etapa, por ejemplo, importantes propiedades como la resistencia al reventado, rasgado y a la tensión se logra en base a diferentes tiempos de batida. En cuanto a los productos químicos agregados se obtiene papel liner con mayor resistencia a la penetración de agua, como también diferentes tonos de color y otras características del papel.

4. PROCESO DE LAMINADO DE CARTÓN CORRUGADO

4.1 PROCESO DE OBTENCIÓN DE LA FIBRA

La fibra virgen se obtiene desfibrándola por dos métodos

- El Método Mecánico que produce papel de baja resistencia, y es utilizado para la fabricación del papel periódico.
- EL Método Químico o Kraft que produce papeles de alta resistencia y es utilizado para la fabricación de empaques.

4.2 DONDE SE HACEN LOS PAPELES

Se hacen en máquinas que se denominan Molinos de los cuales hay básicamente dos tipos: Fourdriner o de mallas, o en máquinas cilíndricas.

El sistema de fabricación de papel hecho en dos o más capas (Fourdriner) es utilizado para que la capa superior sea hecha de fibras cortas o de madera dura que le dan al papel mayor lisura y una mayor capacidad de impresión. Por esta razón es que existen diferencias entre los lados del papel. El lado más áspero se llama el lado malla, el cual es el más absorbente. El lado más liso se llama lado fieltro o lado superior.

4.2.1 El Liner. El liner es fabricado en pesos básicos desde 126 hasta $440 \text{ grs}/\text{m}^2$. Por lo general el liner es hecho en una máquina Fourdrinier, pero puede ser hecho de varias capas en una máquina Cylinder (Cilíndrica). Hay variaciones en las máquinas Fourdrinier que pueden producir el liner en dos o más capas de diferente calidad.

4.2.2 El Corrugado Medio. La materia prima para la fabricación del corrugado medio, es la pulpa de madera dura semiquímica, pero también se puede usar papel reciclado. Se usa madera dura porque la fibra dura contribuye a darle mayor resistencia al aplastamiento horizontal una vez ha sido ondulado. Las fibras largas le dan resistencia al papel pero, en el corrugado medio hay que sacrificar un poco la resistencia del papel para darle mayor rigidez una vez este haya sido corrugado.

El corrugado medio se fabrica en pesos básicos de 126 a 190 grs/m^2 . El corrugado medio debe ser absorbente para que se comporte bien en el proceso de corrugación. El calibre y el contenido de humedad debe ser uniforme a todo lo ancho y largo del rollo.

Figura 4. Rollos de papel kraft



4.2.3 Tipo de Flautas. El factor toma es la relación de consumo entre el corrugado medio y el liner. Este factor de toma es un factor teórico, pues en realidad este varía dependiendo del estado de las masas corrugadoras, del freno del montarollos etc.

Tabla 1. Clases de cartón corrugado

Tipo de Flauta	Factor de Toma	Altura (mm)
A	1.52	4.7
B	1.35	2.46
C	1.45	3.61
E	1.22	1.14

Como se aprecia en la tabla 1 la flauta “A” tiene el mayor factor de toma y el mayor calibre. Las cajas fabricadas con éste tipo de ondulación tiene la mayor resistencia a la compresión.

La flauta “B” tiene mayor número de flautas por unidad de longitud comparada con la “A” y la “C”, lo que hace que las cajas fabricadas con este tipo de flautas tengan mayor capacidad de amortiguación (Resistencia al aplastamiento horizontal) aunque su resistencia a la compresión no será buena por tener bajo calibre. La flauta “B” hace que el cartón pueda doblarse más fácilmente, lo que hace ver al empaque más atractivo, sobre todo en cajas de dimensiones pequeñas.

La flauta “C” tiene características intermedias entre “A” y “B”, no siendo tan resistente a la compresión como la “A” ni con la capacidad de amortiguación que la “B”, pero con mejor resistencia a la compresión que ésta y mayor capacidad de amortiguación que la “A”. Por sus cualidades intermedias la flauta “C” es la de mayor producción en Empaques Industriales Colombianos S.A.

La flauta “E”, es utilizada para el empaque de electrodomésticos y juguetería en general, ya que son productos que no deben soportar carga, y deben tener impresión impactante en el punto de venta. La flauta “E” ofrece la mejor superficie para la impresión sin errores en comparación con las demás flautas y esto se debe al gran número de ondulaciones por unidad de longitud.

4.2.4 Tipo de claves en el single facer ‘C’. Las claves son las combinaciones de papeles (médium y liner) para elaborar cartón corrugado, las claves empleadas en la planta de Empaques Industriales Colombianos S.A son:

Tabla 2. Tipo de claves

Tipo de Clave	Tipo de papel
C540	L25 – M45 – L25
C620	L45 – M70 – L25
C790	L45 – M90 – L45
C930	L70 – M90 – L70

4.2.5 Pruebas de control de calidad para liners y corrugado medio. Peso básico o gramaje: La producción de papel se mide en libras o toneladas, y los precios se calculan por libras o toneladas. Sin embargo cuando el papel se emplea para empaquetar productos, el usuario debe conocer cuanta área puede contar para su fabricación. De aquí que haya necesidad de un parámetro de medida que es la combinación peso y área, a esto se le denomina peso básico y se expresa en grs/m^2 .

Calibre: Hace referencia la espesor del papel y es muy importante en proceso de fabricación de empaques, esta magnitud se mide con un micrómetro entre las dos caras del papel.

Contenido de humedad: El kraft liner y el corrugado medio se fabrica con una humedad entre el 6% y el 8%, con estándar del 7%. Para medir humedad se emplea un higrómetro.

El papel esta hecho de celulosa que es altamente higroscópica y absorbe humedad de la atmosfera o la libera cuando no está en equilibrio.

4.3 ADHESIVOS DE ALMIDON

El pegamento parte muy importante dentro del proceso de fabricación de empaques se logra aplicando una mezcla de almidón y agua sobre las puntas de las flautas; con la aplicación de calor se elevara la temperatura del adhesivo casi instantáneamente, provocando una hidratación de los gránulos de almidón. Posterior el agua es soltada al ambiente y a las fibras del papel.

4.3.1 Componentes del adhesivo. Los componentes en una suspensión de almidón son:

- Almidón.
- Aditivos químicos (Soda cáustica, Bórax, resinas, Biocida,).
- Agua.

La mezcla de éstos en proporción y condiciones adecuadas, forman una mezcla de características fluidas y lechosa.

4.3.2 Temperatura de gelatinización. Es la temperatura a la cual el almidón se hidrata. Cuando la suspensión se lleva hasta esta temperatura, el almidón se cocina siendo el proceso irreversible. A esta temperatura el almidón tiene verdaderamente propiedades de adhesivo, para el caso práctico del almidón de maíz el punto de gelatinización se encuentra a 74°C .

4.3.3 Factores que afectan la adhesividad. Existen varios factores que afectan la adhesividad, entre los más importantes están la calidad del papel, la humedad y temperatura del mismo.

Para asegurar una óptima penetración la temperatura del papel y la humedad debe ser ajustada antes de aplicar el adhesivo para crear condiciones de aplicación ideal. El nivel de contenido de humedad tanto para liner como para corrugados medios es usualmente de 6 – 8%. Un papel muy caliente evapora el agua del adhesivo no permitiendo que se logre una gelatinización completa. Este mismo efecto se produce con papeles extremadamente absorbentes. Cuando el adhesivo es bombeado al corrugador éste no tiene propiedades adhesivas y solo es cuando al calentarse el adhesivo a una temperatura dada, la goma casi instantáneamente se convierte en un adhesivo extremadamente grueso y fuerte, esto se debe a los sólidos del almidón crudo en la goma.

4.3.4 Etapas en la formación de la adherencia. Seis etapas que se presentan en la formación de la adherencia entre el corrugador y el liner son las siguientes.

Etapas 1: aplicación del adhesivo a la punta de las flautas. El adhesivo uniformemente medido por el rodillo aplicador, es transferido a la punta de las flautas.

Etapas 2: penetración del adhesivo dentro del corrugador medio. Idealmente el adhesivo debe penetrar un 25% del espesor del corrugador medio. Si la penetración es insuficiente, no hay suficiente amarre, y la resistencia que transfiere la fibra es baja. Si hay mucha penetración, habrá poco adhesivo para unirse al liner.

Etapas 3: unión de la flauta y el liner. Debe existir suficiente track para unir firmemente el liner a la punta de las flautas del corrugado medio tan pronto se hace el contacto.

Etapas 4: penetración del adhesivo el liner. El grado de penetración dentro del liner debe ser cerca del 25% del espesor del papel, si excede este límite no habrá adherencia fuerte.

Etapas 5: formación de la adherencia. Tan pronto como el agua del adhesivo se absorbe por los papeles, la concentración aumenta llegando a ser más viscoso y pegajoso y la adhesión comienza a formarse.

Etapas 6: fijado final de la adhesión. La pérdida de agua a través del papel y la evaporación en el aire continua hasta que la adhesión formada está seca.

4.3.5 Sistema Carrier. El principio de operación de éste sistema está basado en la fijación del almidón no cocinado alrededor de un vehículo, el cual no es más que el almidón cocinado o sea ya alcanzó la temperatura de gelatinización. El sistema de preparación utilizado en muchas plantas es del tipo de dos tanques. En un tanque se prepara el vehículo y en el segundo la suspensión del almidón no cocinado. Posteriormente se mezclan estas dos fases en el último tanque quedando preparado el bache, viscosidad entre 21-25.

4.3.6 Sistema No Carrier. Es similar al anterior pero con la diferencia que requiere menos calor para la formación de la unión puesto que los gránulos han sido parcialmente hidratados además que hay menos agua libre. Esta característica del adhesivo hace que la velocidad de la máquina se incremente especialmente en la fibra solidad, doble pared y pared sencilla, también reduce del material encocado, viscosidad entre 35-40.

4.4 FALLAS POR IRREGULARIDADES DEL CALOR.

Corrugaciones fracturadas: esta es una condición que se manifiesta como cortes o perforaciones a lo largo de la onda en los lados o en las puntas de las flautas.

4.4.1 Ampollas. Es el pegado intermitente de una manera irregular de los liner al médium, tiene el aspecto de burbujas sobre el cartón.

4.4.2 Lámina Húmeda. Cartón combinado excesivamente húmedo en la entrega lateral, se debe a que hay poco calor en las planchas del doble backer. El liner del doble backer esta suelto: en general, las adhesiones del doble backer se separan o son muy débiles, esto se debe a que el single face está demasiado caliente y la goma se deshidrata antes de alcanzar la temperatura de gelatinización o las planchas del doble backer no está suficientemente caliente.

5. CONSIDERACIONES OPERATIVAS IMPORTANTES.

5.1 EL PRECALENTADOR

Arropamiento en el precalentador: La cantidad de arropamiento del liner en el precalentador no debería ser mayor que la necesaria para pegar el cartón a la velocidad que esta corriendo y para controlar el encocamiento.

Un sobrecalentamiento (sobresecado) de un liner liviano puede causar adhesiones muy quebradizas ya que debe existir cierta cantidad de humedad en el liner para pegar firmemente, adicionalmente a lo anterior estos liner tiene la tendencia al reventar los dobleces o (scores).

Generalmente el liner del single facer debe ser arropado de tal manera que la humedad vaya hacia las líneas de goma. Los liner pesados húmedos deben ser arropados para secar la humedad de las líneas de goma.

El precalentador del single facer es un medio muy importante para controlar el encocamiento en el corrugador. Arropar el lado del liner del combinado contra el precalentador para que se pueda aprovechar al máximo el arropamiento.

Figura 5. Precalentador 36"



5.2 Tensión Y ALINEAMIENTO

La tensión y el freno en los montarrollos deberá ser la suficiente para quitar arrugas y bordes ondulados o sueltos. Una excesiva tensión puede causar adhesión pobre del single face, genera altos esfuerzos en el cartón, causando encocamiento de un extremo a otro.

5.3 TEMPERATURA EN RODILLOS Y PLANCHAS

Para una transmisión de calor optima, la rata de flujo debe ser adecuada a través del single facer y de los tambores precalentadores y por otro lado el condensado y los gases no condensables deben ser retirados eficientemente. Esto asegura la buena adherencia entre las caras del cartón corrugado. El sistema por medio del cual se calienta planchas y rodillos se debe a una caldera que genera vapor suficientemente caliente para operar de manera correcto el proceso de corrugado.

5.4 EL SINGLE FACER

La función primaria del single facer es ondular el corrugado medio mediante unos rodillos en forma de piñones, aplicar adhesivo a la punta de las flautas y pegarlo al liner.

Figura 6. Single Facer C



Figura 7. Corrugadora S.F.C



5.5 VAPOR Y SISTEMA DE CONDENSADO

El suministro de vapor para la máquina es tomado de la línea principal a una presión entre 165 y 180psi. Este vapor entra a un manifold en donde es distribuido a los distintos rodillos por medio de mangueras flexibles y uniones rotativas las cuales permiten la entrada de vapor y la extracción de condensado cuando los rodillos están en movimiento.

5.6 DUCHAS GAYLORD ACONDICIONADORAS DEL PAPEL

Las duchas de vapor consisten en un tambor fijo que tiene dos cámaras. La función de este elemento es la de ayudar a desarrollar las propiedades plásticas del corrugado medio antes de ser ondulado.

5.7 RODILLOS CORRUGADORES Y DE PRESIÓN

Los rodillos corrugadores son de varios tipos según el tipo de flauta (A, B, C, E) y son fabricados de acero especial. Los rodillos tienen un diámetro interior grande para asegurar la entrada de vapor y la buena transferencia de calor.

Estos rodillos también tienen un sistema de vacío que adhiere el papel medio a la masa corrugadora.

5.8 UNIDAD APLICADORA DE GOMA

Se compone de un rodillo engomador y un rodillo aplicador. El rodillo engomado de gran diámetro aplica la goma sobre las puntas de las flautas y están en constante rotación independientemente si la máquina se encuentra detenida o no. El rodillo aplicador ubicado junto al rodillo engomador proporciona la cantidad adecuada de adhesivo al rodillo engomador y a su vez limpia el exceso de pegamento.

5.9 MÁQUINA ENGOMADORA DOBLE (DOUBLE GLUE MACHINE)

La función de esta máquina es aplicar adhesivo a las puntas de las flautas del single face, en forma controlada, sin deformarlas. En Empaques Industriales Colombianos S.A. tiene una máquina engomadora doble es decir tiene dos estaciones de aplicación de adhesivo una encima de la otra.

5.9.1 Rodillo aplicador. Su función es aplicar adhesivo a las puntas de las flautas de manera homogénea.

5.9.2 Rodillo dosificador. Le proporciona adhesivo al rodillo aplicador de manera controlada.

5.9.3 Rodillo cabalgador. Se encarga de ejercer presión al single face sobre el rodillo aplicador y asegura una adherencia efectiva.

Figura 8. Máquina engomadora doble



5.10 DOUBLE BACKER

Después de que el single face toma adhesivo en la máquina engomadora, se une en forma permanente con el liner interior al gelatinizarse el adhesivo en el doble backer.

El doble backer consta en términos generales de dos secciones. Una sección de planchas calientes y una sección fría de tracción.

5.10.1 Planchas. Son una serie de secciones calientes fabricadas en fundición con un parte interior hueca. Su función es transmitir calor al liner interior para alcanzar la temperatura de gelatinización.

5.10.2 Rodillos de peso. Se encargan de ejercer fuerza encima de cada plancha para obligar el liner inferior a recibir el calor emitido por la plancha.

4.10.3 Bandas. Son las encargadas de transportar el material combinado por las planchas y por la sección fría.

Figura 9. Double Backer



5.11 EL CORTADOR – RAYADOR

La función del cortador – rayador (Slitter - Scorer) es hacer cortes y marcas de dobles (Scores) en forma longitudinal al cartón corrugado a medida que va saliendo del doble backer.

Figura 10. Cuchillo Triplex (cortador - rayador)



5.12 EL CUT OFF

El cartón después de ser cortado longitudinalmente en el cortador-rayador es introducido en el cut off para ser cortado transversalmente.

El Cut Off funciona como una guillotina giratoria de operación continua, en el que las cuchillas se montan radialmente en los cilindros giratorios, los cuales se juntan en forma de tijeras para hacer el corte de manera progresiva a medida que avanza el cartón.

5.12.1 Cilindros porta cuchillas. Son tambores con asientos rectificados para alojar en forma precisa las cuchillas. Dispone de agujeros roscados para sujetar firmemente las cuchillas, están montados sobre cojinetes de rodillos para trabajo pesado y cada pareja de rodillos rotan simultáneamente mediante piñones de dientes rectos situados a ambos extremos.

Figura 11. Cut off



5.13 DESPERDICIOS FÍSICOS EN UNA CORRUGADORA

Tabla 3. Desperdicios en planta

No Controlable	Controlable
Es generado por le mismo proceso productivo para sacar el producto terminado solicitado por el cliente, y el cual no se puede evitar. Dentro de este tipo de desperdicio está el generado por las ranuras y aletas de las cajas, el producido en el proceso de troquelado de láminas.	Es el desperdicio en que la administración y la parte productiva de la fábrica pueden actuar para disminuir y aun eliminarlo. Dentro de esta clasificación están las capas malas de los rollos, láminas húmedas, encocadas, cajas mal impresas, mal troqueladas, con mal cierre, (laminado y terminado)etc.

6. DIAGNOSTICO DEL PROCESO OPERATIVO EN EL CORRUGADOR

6.1 PREALISTAMIENTO

Previamente al proceso de corrugado la maquinaria debe estar a punto, asegurando que las condiciones iniciales del proceso estén listas.

- Cuarto de Calderas: La presión de vapor debe permanecer alrededor de los 160psi
- Sistema Eléctrico: El suministro eléctrico en la planta de corrugado debe asegurarse en 440Vdc y 220Vdc para alimentar los variadores y los motores DC o AC.
- Sistema Neumático: La presión de aire que asegura un buen funcionamiento de los gatos neumáticos y de más dispositivos debe estar en 75psi.

Los operarios encargados del proceso de corrugado tiene como tarea controlar y vigilar: el ó los single facers, el tripleprecalentador, la máquina engomadora doble, el cuchillo triplex y la zona de embalaje.

6.2 EL CORRUGADOR

Existen tres (3) operarios encargados del corrugado; el primer operario trae los rollos a la zona del single facer por medio de la montacarga.

Dos (2) operarios se encargan de montar los rollos (liner interior, médium y liner exterior) en un mandril y enhebrarlos en el single facer, en el caso del liner exterior éste es enhebrado al triple precalentador.

Al enhebrar el liner interior y el médium al single facer se obtiene la cara simple (single face) la cual es enviada por medio del puente hasta los triple precalentadores, posteriormente los dos (2) operarios se encargan de enhebrar el liner exterior y la cara simple (single face) en la máquina engomadora doble, luego son pegadas y pasan al doble backer y finalmente ser recibidas por el cuchillo triples y cut off, con el propósito de aplicar los scores y cortar el cartón corrugado en láminas. Ver figuras (11,12)

6.3 OPERACIÓN Y MANDO

Existen cuatro (4) módulos manuales de mando manipulados por los operarios del proceso de corrugado.

El modulo A ubicado en la zona de embalaje ejerce mando sobre los motores que hace girar las bandas transportadoras (conveyor) superior e inferior.

El modulo B ubicado frente al cut off se encarga de controlar la velocidad del doble backer, controlar los accionamientos de los gatos neumáticos del doble backer, controlar la velocidad del cut off y determinar las dimensiones de las láminas de cartón corrugado.

El modulo C se encuentra ubicado al inicio del doble backer, en éste panel existen botones de mando con los cuales se controla la velocidad y el funcionamiento de los gatos neumáticos del doble backer. En éste panel también existen tres (3) indicadores digitales los cuales muestran la temperatura en grados centígrados de las planchas a lo largo del doble backer

Los Módulos D están ubicadas frente a cada single facer (máquina corrugadora), en estos módulos están todos los botones de mando que controlan la operación de los single facer (máquina corrugadora) las operaciones son: aumento y disminución de la velocidad del single facer, aumento y disminución del doble backer, accionamiento de los gatos neumáticos, alarma, accionamiento del rodillo de presión.

6.4 EMBALAJE

En la zona de embalaje mientras el corrugador este en funcionamiento estarán saliendo permanentemente láminas de cartón corrugado de manera que existen cuatro (4) operarios que reciben las láminas de la banda transportadora superior e inferior (conveyor) y posteriormente las apilan sobre las estibas.

Dos (2) operarios se encargan de manipular el modulo B y un último operario se encarga de almacenar las láminas de cartón corrugado en la zona de impresión y terminado.

Figura 12. Zona de embalaje de láminas.



6.5 FALLAS EN EL PROCESO

Actualmente en la planta de Empaques Industriales Colombianos S.A. las fallas del material (cartón corrugado) durante el proceso son identificadas y advertidas por los operarios ubicados en la zona de embalaje, los cuales le comunican de éstas fallas a los operarios encargados del corrugado para que ellos tomen los correctivos pertinentes inmediatamente después, ver anexo (fallas del cartón corrugado).

7. DIAGRAMAS DE FLUJO DEL PROCESO DE LAMINADO DE CARTÓN CORRUGADO EN EMPAQUES INDUSTRIALES COLOMBIANOS S.A

El proceso productivo del cartón corrugado abarca distintos subproceso dentro de los cuales tenemos:

- Cuarto de gomas: lugar destinado a la preparación del adhesivo el cual es empleado para pegar diferentes capas que del cartón corrugado.
- Cuarto de compresores: un sistema de compresión que suministra aire comprimido a la corrugadora para el accionamiento de pistones.
- Corrugador: el proceso de corrugada tiene distintas secciones conforme al tipo de onda que se quiera elaborar (A, B, C) y cada una es representada por un single face'r. Los precalentadores a todo lo largo del proceso cambian las condiciones físicas del papel con el fin de hacer de este material una materia prima más maleable.
- Cuarto de calderas: la función de una caldera consiste en suministrar vapor de agua a altas temperaturas con el objeto de proveer el calor preciso a todos los precalentadores que están instalados a lo largo del corrugador
- Subestación eléctrica: suministra el fluido eléctrico a la planta para el funcionamiento de todos los motores, alarmas, sensores, equipos, iluminación y accionamientos.

El proceso de cartón corrugado se explica de manera más simple empleando diagramas de flujo, esto con el propósito de aclarar dudas presentada en puntos anteriores, ver anexo A.

8. ESTUDIO ESTADISTICO DE LAS VARIABLES TEMPERATURA CONTRA VELOCIDAD PARA LA ELABORACIÓN DE CARTON CORRUGADO

Con el objetivo de comprender más a fondo el problema que existe en la elaboración de cartón corrugado en Empaques Industriales Colombianos S.A se opto por diseñar y ejecutar un estudio experimental acerca de la influencia que tiene el incremento y disminución del la temperatura y velocidad durante el proceso.

Con la información recopilada en éste estudio se desea corroborar cual es la temperatura ideal de ingreso del papel kraft liner (exterior e interior) y a la velocidad correcta de corrida para fabricar un mejor cartón corrugado.

Teniendo en cuenta que la temperatura de ingreso ideal del papel kraft liner está entre 80 a 90°C.

8.1 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Los instrumentos de medición que se emplearon para realizar este estudio fueron un pirómetro de temperatura y un tacómetro digital; ver anexo P, Q.

Los puntos de interés en el estudio fueron propuestos por el departamento de producción. Estos lugares corresponden a medir la velocidad y temperatura sobre el papel kraft liner interior a la entrada del single facer 'C'.El segundo punto de medición fue medir velocidad y temperatura sobre el papel kraft liner ahora del liner exterior a la entrada del doublé backer.

En el anexo (A al G) se presenta las tablas de datos y graficas de correlación. Información recopilada con base al Libro "El proceso de laminado del cartón corrugado"

9. IMPLEMENTACION DEL DISEÑO MECATRONICO

9.1 MISION

Tabla 4. Misión del proyecto.

Descripción de Producto	Sistema que regula la temperatura de ingreso del liner al single facer y doble máquina engomadora (Double Glue Machine)
Principales objetivos del marketing	Aplicar este sistema al proceso de corrugado en la planta de corrugado de Empaques Industriales Colombianos S.A -Cali, puesto que ya existen soluciones similares pero con tecnología extranjera con costos elevados en mantenimiento y adquisición de equipos.
Mercado primario	Corresponde a Empaques Industriales Colombianos S.A.
Mercado secundario	Compañías dedicadas a la elaboración de cartón corrugado.
Premisas y restricciones	<ul style="list-style-type: none">• Regulación de la temperatura.• Fiabilidad en el sistema.• Simplicidad y eficiencia.• Mostrar las variables del proceso.• Fácil mantenimiento.
Partes implicadas	<ul style="list-style-type: none">• Estudiante de Ingeniería Mecatrónica; Universidad Autonoma de Occidente• Departamento de Mantenimiento y Producción de Empaques Industriales Colombianos S.A.• Supervisor y operarios del área de corrugado.

9.2 IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES

En la tabla 1 se identifica las necesidades del cliente asignándole un nivel de importancia a cada una de las especificaciones, correspondiendo el número cinco (5) el nivel más alto y el número uno (1) el nivel más bajo.

Tabla 5. Necesidades del cliente

Necesidades del Cliente			
No			Imp
		Antes de la adquisición	
1	Proyecto	Buena relación costo beneficio	5
2	Proyecto	Capacidad de evolución	3
3	Proyecto	Información acerca del producto	2
		Primeras Impresiones	
4	Proyecto	Fácil de aprender	4
5	Proyecto	Una vez aprendido que sea fácil de operar	4
6	Proyecto	Que sea seguro para los operarios	5
7	Proyecto	Grado de modularidad importante	3
8	Proyecto	Manual de usuario/mantenimiento	3
		Mientras Funciona	
9	Proyecto	Fiabilidad en las lecturas de las variables	5
10	Proyecto	El sistema funcionara bien después de apagones de energía	4
11	Proyecto	El sistema funcionara bien en condiciones climáticas diversas	3
12	Proyecto	Reducir el material encocado al final del proceso	5
13	Proyecto	El sistema funcionara después bajones de energía	4
		Características Específicas	
14	Proyecto	Exactitud en las mediciones	5
15	Proyecto	El sistema detectara el calor del liner	5
16	Proyecto	El sistema regulara la temperatura de ingreso del liner	5
17	Proyecto	Se podrá operar como mínimo durante 8 horas/diarias	4
18	Proyecto	El rodillo de arropamiento fusionara de manera automática	5
		Interfaz de Usuario	
19	Proyecto	Fácil de operar	3
20	Proyecto	La información suministrada será clara y entendible	4
21	Proyecto	Brindar información acerca del proceso	3
		Soporte	
22	Proyecto	Fácil acceso al mantenimiento	2

9.3 LAS ESPECIFICACIONES

Consiste en una métrica y un valor, es la traducción de las necesidades expresada en lenguaje de usuario a un atributo medible en el producto. Sus niveles de importancia van desde el uno (1) hasta el cinco (5)

Tabla 6. Tabla de métricas.

Métrica #	Necesidad #	Métricas	Imp	Unidades
1	1	Ahorro por adquisición del producto	5	\$pesos
2	2;7	Número de revisiones y mejoras	2	anual
3	17	Tiempo estimado en operación	4	horas
4	4;19	Tiempo estimado en entrar en funcionamiento	3	minutos
5	5	Tiempo estimado para la ejecución de tareas	3	segundos
6	13	Rango de operación bajo perturbaciones electromagnéticas	5	MHz
7	18	Potencia nominal	1	Kw
8	11	Rango de operación bajo humedad	3	%
9	11;15	Rango de operación bajo temperaturas extremas	3	°C
10	16	Rango de temperatura del liner	4	°C
11	18	Velocidad nominal de desplazamiento	4	M/min.
12	12	Reducción del material no conforme	4	m ²
13	18	Porcentaje de área superficial por arropamiento	3	%
14	9;14;20;21	Grado de confiabilidad de la información	5	A,M,B
15	8	Calidad de manual de usuario	2	A,M,B
16	6;10;21	Grado de seguridad del sistema	5	A,M,B
17	3	Disponibilidad de información previa	1	A,M,B
18	22	Facilidad en la ejecución de mantenimiento	2	A,M,B

Tabla 7. Relación directa de métricas contra necesidades.

		METRICAS																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
NECESIDADES	1	√																	
	2		√		√														
	3																	√	
	4																		
	5					√													
	6																√		
	7		√																
	8															√			
	9														√				
	10																√		
	11							√	√										
	12												√						
	13					√													
	14														√				
	15								√										
	16									√									
	17			√															
	18						√				√		√						
	19			√															
	20														√				
	21														√		√		
	22																		√

9.4 BENCHMARKING

Consiste en evaluar la satisfacción de las necesidades del cliente en productos competidores. En la figura 13 se visualiza la solución al problema por parte de compañías especializadas en el campo del cartón corrugado.

Figura 13. Precalentadores



Compañía: B.H.S. Precalentador automático



Compañía: TOMASONI. Precalentador automático



Empaques Industriales Colombianos S.A.
Precalentador del Single Facer C

En la tabla 6 se comparan en función de la satisfacción del cliente la solución al problema por compañías como BHS (UK), TOMASONI (Brasil) y la solución al problema con la que cuenta actualmente Empaques Industriales Colombianos S.A

Tabla 8. Benchmarking

Necesidades del Cliente				BHS	TOMASONI	EIC S.A
No			Imp			
		Antes de la adquisición				
1	Proyecto	Buena relación costo beneficio	5	•••••	••••	•
2	Proyecto	Capacidad de evolución	3	•••	•••	•
3	Proyecto	Información acerca del producto	2	•••••	•••••	•
		Primeras Impresiones				
4	Proyecto	Fácil de aprender	4	•••	•••	•••••
5	Proyecto	Una vez aprendido que sea fácil de operar	4	•••••	•••••	•••••
6	Proyecto	Que sea seguro para los operarios	5	•••••	•••••	••
7	Proyecto	Grado de modularidad importante	3	•••••	••••	•
8	Proyecto	Manual de usuario/mantenimiento	3	•••••	•••••	••
		Mientras Funciona				
9	Proyecto	Fiabilidad en las lecturas de las variables	5	•••••	•••••	•
10	Proyecto	El sistema funcionara bien después de apagones de energía	4	•••••	•••••	•••••
11	Proyecto	El sistema funcionara bien en condiciones climáticas diversas	3	••••	••••	••••
12	Proyecto	Reducir el material encocado al final del proceso	5	•••••	•••••	•
13	Proyecto	El sistema funcionara después bajones de energía	4	•••••	••••	••••
		Características Específicas				
14	Proyecto	Exactitud en las mediciones	5	•••••	•••••	•
15	Proyecto	El sistema detectara el calor del liner	5	•••••	•••••	•
16	Proyecto	El sistema regulara la temperatura de ingreso del liner	5	•••••	•••••	•
17	Proyecto	Se podrá operar como mínimo durante 8 horas/diarias	4	••••	••••	••••
18	Proyecto	El rodillo de arropamiento fusionara de manera automática	5	•••••	•••••	•
		Interfaz de Usuario				
19	Proyecto	Fácil de operar	3	••••	••••	•••••
20	Proyecto	La información suministrada será clara y entendible	4	••••	••••	•
21	Proyecto	Brindar información acerca del proceso	3	•••••	••••	•
		Soporte				
22	Proyecto	Fácil acceso al mantenimiento	2	••••	••••	•••

9.5 EVALUACION DE LOS PRODUCTOS DE LOS COMPETIDORES

Tabla 9. Valores entre los competidores.

No		Métricas	Imp	Unidades	BHS	TOMASONI	EIC S.A
1	Proyecto	Ahorro por adquisición del producto	5	\$pesos	Np	Np	Np
2	Proyecto	Numero de revisiones y mejoras	2	anual	0	0	1
3	Proyecto	Tiempo estimado en operación	4	horas	24	24	16
4	Proyecto	Tiempo estimado en entrar en funcionamiento	3	minutos	3	3	5
5	Proyecto	Tiempo estimado para la ejecución de tareas	3	segundos	2	2	5
6	Proyecto	Rango de operación bajo perturbaciones electromagnéticas	5	MHz	Np	Np	Np
7	Proyecto	Potencia nominal	1	Kw	Np	Np	Np
8	Proyecto	Rango de operación bajo humedad	3	%	85	85	75
9	Proyecto	Rango de operación bajo temperaturas extremas	3	°C	200	200	116
10	Proyecto	Rango de temperatura del liner	4	°C	variable	variable	80-90
11	Proyecto	Velocidad nominal de desplazamiento	4	M/min.	300	300	90
12	Proyecto	Reducción del material no conforme	4	m²	10K	5K	50
13	Proyecto	Porcentaje de área superficial por arropamiento	3	%	80	80	50
14	Proyecto	Grado de confiabilidad de la información	5	A,M,B	A	A	B
15	Proyecto	Calidad de manual de usuario	2	A,M,B	A	A	B
16	Proyecto	Grado de seguridad del sistema	5	A,M,B	A	A	B
17	Proyecto	Disponibilidad de información previa	1	A,M,B	A	A	B
18	Proyecto	Facilidad en la ejecución de mantenimiento	2	A,M,B	A	A	M

9.6 PLANTEAMIENTO DE LOS VALORES MARGINALES E IDEALES

Con el planteamiento de los valores marginales e ideales tiene como fin encontrar los valores y parámetros que más benefician a la posible solución al problema.

Tabla 10. Identificaciones de los valores marginales e ideales.

N o		Métricas	Imp	Unid.	Valores marginales	Valores ideales
1	Proyecto	Ahorro por adquisición del producto	5	\$pesos	<24millone s	>45millone s
2	Proyecto	Numero de revisiones y mejoras	2	anual	1	0
3	Proyecto	Tiempo estimado en operación	4	horas	8	16
4	Proyecto	Tiempo estimado en entrar en funcionamiento	3	minutos	25	12
5	Proyecto	Tiempo estimado para la ejecución de tareas	3	segundo s	5	2
6	Proyecto	Rango de operación bajo perturbaciones electromagnéticas	5	MHz	Np	Np
7	Proyecto	Potencia nominal	1	Kw	Np	Np
8	Proyecto	Rango de operación bajo humedad	3	%	75	90
9	Proyecto	Rango de operación bajo temperaturas extremas	3	°C	150-190	250
10	Proyecto	Rango de temperatura del liner	4	°C	75-95	80-90
11	Proyecto	Velocidad nominal de desplazamiento	4	M/min.	80	150
12	Proyecto	Reducción del material no conforme	4	m ²		
13	Proyecto	Porcentaje de área superficial por arropamiento	3	%	45%	50%
14	Proyecto	Grado de confiabilidad de la información	5	A,M,B	M	A
15	Proyecto	Calidad de manual de usuario	2	A,M,B	B	A
16	Proyecto	Grado de seguridad del sistema	5	A,M,B	B	A
17	Proyecto	Disponibilidad de información previa	1	A,M,B	B	A
18	Proyecto	Facilidad en la ejecución de mantenimiento	2	A,M,B	M	A

9.7 CLASIFICACION DEL PROBLEMA

Descripción de producto. El proyecto consiste en diseñar un sistema que regule automáticamente la temperatura de ingreso el papel kraft liner al single facer y doble máquina engomadora (Double Glue Machine).

9.7.1 Necesidades

- Dar solución a la problemática del encocamiento del cartón corrugado.
- Regular automáticamente la temperatura del liner.
- Mostrar la variable o las variables implicadas en el problema.
- El sistema funcionara de forma continua.
- Proteger el sistema ante factores y perturbaciones externas.

9.7.2 Especificaciones

- Protección antes perturbaciones de baja frecuencia (1MHz a 5MHz).
- Tiempo en operación superior a 8horas/diarias.
- Reducción del material no conforme (m²)
- Estaciones de mando y control
- Normalización IEEE

9.8 DESCOMPOSICION FUNCIONAL

Figura 14. Representación de entradas y salidas del sistema (caja negra).



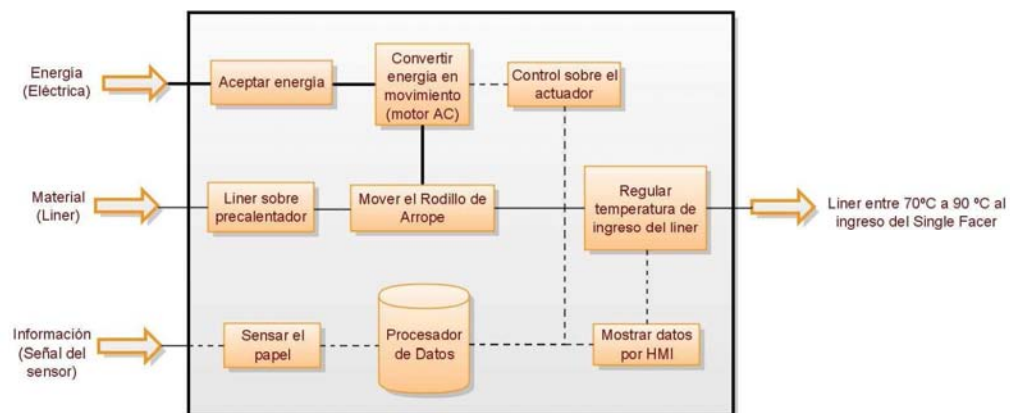
9.8.1 Energía. Empaques Industriales Colombianos S.A. posee una subestación eléctrica que recibe 13.200 voltios trifásicos y los convierte mediante dos transformadores a tensiones industriales de 440Vac y 220Vac.

9.8.2 Material. El Papel kraft empleado en la planta corrugación es de dos tipos: corrugado Medio: El corrugado medio es el material del que está hecho la onda del cartón corrugado, la materia prima para la fabricación de corrugado medio, es la pulpa de madera dura semiquímica y papel reciclado.

Liner: con este tipo de papel se elabora las caras externas o tapas del cartón corrugado, la materia prima para la fabricación de este papel son maderas blandas que proveen fibras largas (pinos, abetos). Fibras de maderas duras que provienen de árboles tropicales que tienen fibras cortas y por ultimo fibras secundarias que hace referencia a material reciclado. El tipo de papel del cual nos encargaremos de sensar la temperatura será el kraft liner.

9.8.3 Información. los sensores son dispositivos electrónicos que convierten una señal analógica a una señal eléctrica medible, con el objetivo de conocer y determinar el entorno que nos rodea, luego estos datos son recopilados y enviados a procesadores de datos y/o controladores los cuales toman una decisión en base a la respuesta del proceso.

Figura 15. Descomposición funcional de problema



9.9 BUSQUEDA EXTERNA

En la actualidad las compañías cuyo campo de acción es brindar soluciones y equipos a empresas dedicadas a la fabricación de cajas de cartón corrugado son numerosas alrededor del mundo, como también numerosas o diversas son las soluciones a problemas, durante la fabricación, comunes en cualquier proceso de corrugación. El problema del extremo húmedo es uno de estos problema que

atañen a cualquier proceso de corrugado, consiste en reducir la humedad excesiva en el papel kraft cuyo efecto en el proceso se puede percibir en el combamiento o encocamiento de la lámina de cartón corrugado.

Por esto compañías como Erhard+Leimer Corrugated GmbH, BHS, Agnati, Fosber brindan soluciones al mismo problema pero con enfoques distintos, empleando herramientas como el control distribuido (DCS) por medio de PLC's.

Tabla 11. Características de los PLC's

Atributos del Controlador Lógico Programable (PLC)	
Funciones	Controles simples de LA y/o LC Control secuencia Detección de fallas (alarmas)
Configuraciones	E/S analógicas E/S discretas PWM, RTD
Módulos	Basic C, PID
Comunicaciones	Interfaz hombre maquina (HMI) RS-232; RS-485, Profibus etc. Capacidad de trabajar con otros plc's en red (DCS)
Programación	Ladder, lista de instrucciones Diagramas lógicos, Grafcet

Por medio de una consulta se logro entrevistar al ingeniero Pablo Solano encargado del departamento de producción con un nivel de experiencia alta en la industria del cartón el cual siguiere la implementación de un PLC y pantalla de visualización de variables puesto que son dispositivos que cumplen con los requerimientos del cliente (Empaques Industriales Colombianos S.A).

La búsqueda externa también se llevo a cabo investigando en revistas, documentos e internet toda esta información relacionada directamente con la industria del cartón corrugado ampliando de esta manera el conocimiento e informando de las últimas actualizaciones en la industria.

9.10 BUSQUEDA INTERNA

El departamento de producción junto al departamento de mantenimiento de Empaques Industriales Colombianos S.A han adelantado modificaciones y mejoras en diversos puntos de la planta haciendo uso del PLC, como por ejemplo el conteo y arrume de las cajas en la sección de terminado. Los módulos con PLC son elementos que actualmente está siendo utilizado en secciones como la de impresiones flexograficas y troquelado, brindando una gran utilidad ahorrando tiempos de operación por máquina.

9.11 GENERACION DE CONCEPTOS

En la aplicación de la metodología de diseño propuesta aquí (ingeniería concurrente) se enfoca en generar diversos conceptos de forma paralela que den solución a determinado problema, a continuación se plantea algunos.

Tabla 12. Conceptos generados

Tipo de Tecnología.	Estrategia de Control.
<ul style="list-style-type: none">• Siemens PLC.• Allen Brandley PLC.• Unitronics PLC.	<ul style="list-style-type: none">• Regulatorio• Secuencial.• Mandos
Sensores de Temperatura.	Visualización de variables.
<ul style="list-style-type: none">• Infrarrojo• Termopar• RTD	<ul style="list-style-type: none">• Pantalla Táctil• Indicadores Digitales• Indicadores Analógicos.
Comunicaciones	
<ul style="list-style-type: none">• 4 a 20 mA• Profibuss• RS485	

Figura 16. Generación de conceptos

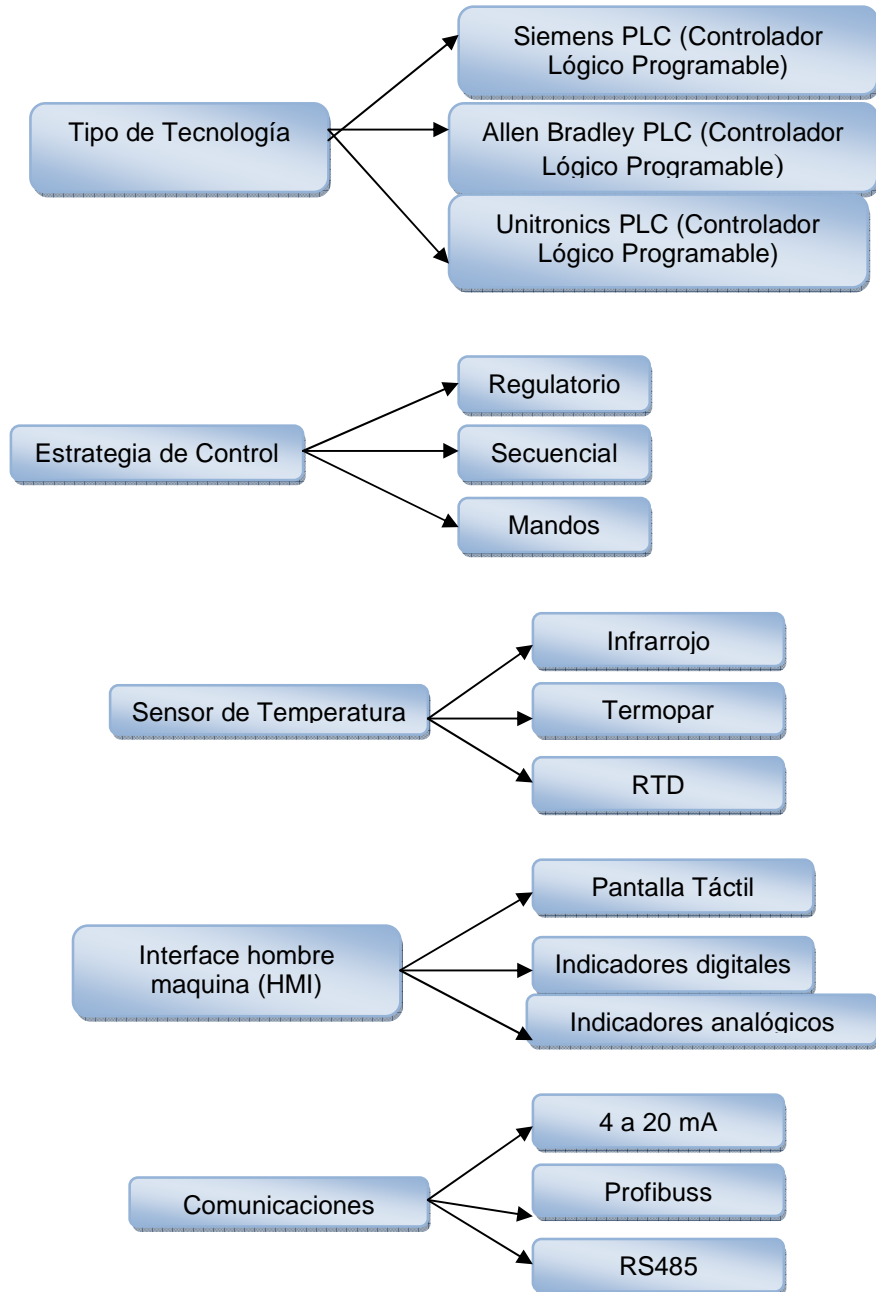


Figura 17. Combinación de conceptos A.

Tipo de tecnología	Estrategia de control	Sensor Temperatura	HMI	Comunicaciones
Siemens	Secuencial	Infrarrojo	Pantalla Táctil	4 a 20mA
Allan Bradley	Regulatorio	Termopar	Indicador digital	Profibuss
Unitronics	Mandos	RTD	Indicador Analógico	RS485

Figura 18. Combinación de conceptos B.

Tipo de tecnología	Estrategia de control	Sensor Temperatura	HMI	Comunicaciones
Siemens	Regulatorio	Infrarrojo	Pantalla Táctil	4 a 20mA
Allan Bradley	Secuencial	Termopar	Indicador digital	Profibuss
Unitronics	Mandos	RTD	Indicador Analógico	RS485

Figura 19. Combinación de conceptos C.

Tipo de tecnología	Estrategia de control	Sensor Temperatura	HMI	Comunicaciones
Siemens	Regulatorio	Infrarrojo	Pantalla Táctil	4 a 20mA
Allan Bradley	Secuencial	Termopar	Indicador digital	Profibuss
Unitronics	Mandos	RTD	Indicador Analógico	RS485

9.12 SELECCIÓN DE CONCEPTOS

Por medio de la tabla 9. Se busca comparar los conceptos generados en la etapa anterior, con el objetivo se seleccionar el mejor o complementar aquellos conceptos que así lo requieran. Dicha selección se hace basándose en las necesidades del cliente y el criterio de ingeniería (Ingenieros, técnicos y operarios).

La evaluación de los conceptos se hará por medio de una matriz de tamizaje y ciertos criterios con los cuajes se pretende homogenizar las necesidades.

9.12.1 Criterios de selección:

- Adaptabilidad: El nuevo sistema debe acoplarse de forma sencilla a la base tecnológica con la cual cuenta EIC S.A
- Fácil manejo: El manejo del sistema se presenta de manera simple y de fácil entendimiento para la mayoría.
- Tiempo de vida: Cuánto tiempo permanecerá implementado el proyecto hasta su desactualización.
- Tiempo de muestreo: corresponde al tiempo en el cual el instrumento o sensor es monitoreado para conocer sus variables.
- Mantenimiento: fácil de acceder para ejecutar labores de mantenimiento.
- Fiabilidad del sistema: permitir una alta confiabilidad en los datos.
- Ajuste al presupuesto: no debe superar los costos previstos.

Tabla 13. Tamizaje de conceptos

Criterio de selección		Concepto seleccionado			Ref
		a	b	c	
Adaptabilidad		+	+	+	0
Fácil manejo		+	+	+	0
Tiempo de vida		+	0	0	0
Tiempo de muestreo		0	0	0	0
Mantenimiento		0	0	0	0
Fiabilidad del sistema		+	+	0	0
Ajuste al presupuesto		-	-	+	0
	Positivos	4	3	3	
	Iguales	2	3	4	
	Negativos	1	1	0	
	Total	3	2	3	
	Orden	1	3	2	
	¿Continúa?	si	Fusionar	Fusionar	

(+): Mejor que, (0): igual que, (-): Peor que

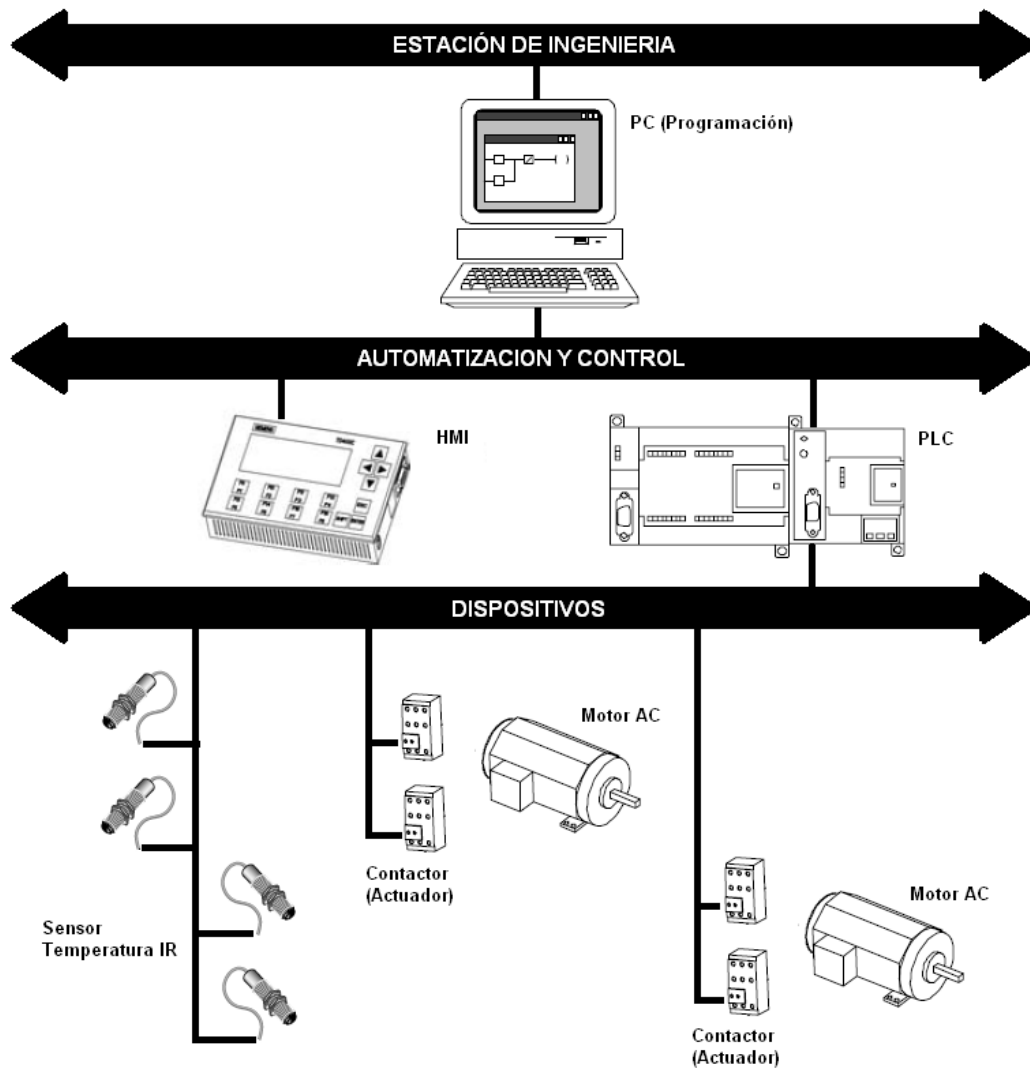
Tabla 14. Evaluación de conceptos

		Variantes de conceptos			
		A		B+C	
Criterio de selección	% Ponderación	Nota	Criterio Ponderado	Nota	Criterio Ponderado
Adaptabilidad	10%	3	0.15	4	0.4
Fácil manejo	15%	3	0.15	4	0.6
Tiempo de vida	10%	3	0.3	3	0.3
Tiempo de muestreo	10%	4	0.2	3	0.3
Mantenimiento	10%	3	0.15	3	0.3
Fiabilidad del sistema	30%	4	1.2	4	1.2
Ajuste al presupuesto	15%	3	1	4	0.6
Total		3.15		3.7	
Orden		2		1	
Continuara		NO		SI	

La fiabilidad de ambas propuestas es buena, ver explicación en conclusiones finales.

10. ARQUITECTURA DE DISEÑO

Figura 20. Arquitectura del sistema



La arquitectura de diseño comprende el análisis de todos los dispositivos eléctricos, electrónicos y electromecánicos. También el identificar las etapas del control distribuido que harán parte del proyecto en Empaques Industriales Colombianos S.A (figura 20).

10.1 DISPOSITIVOS

En esta etapa se encuentra localizado los accionamientos de control y sensores. Los primero ejerce mando sobre la variable manipulada (Voltaje) como los actuadores, cuyo trabajo es ejercer mando sobre el motor AC con el propósito de girar en sentido horario o anti horario, los sensores de temperatura infrarrojos se encargan de medir la variable a controlar (Temperatura).

10.2 AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

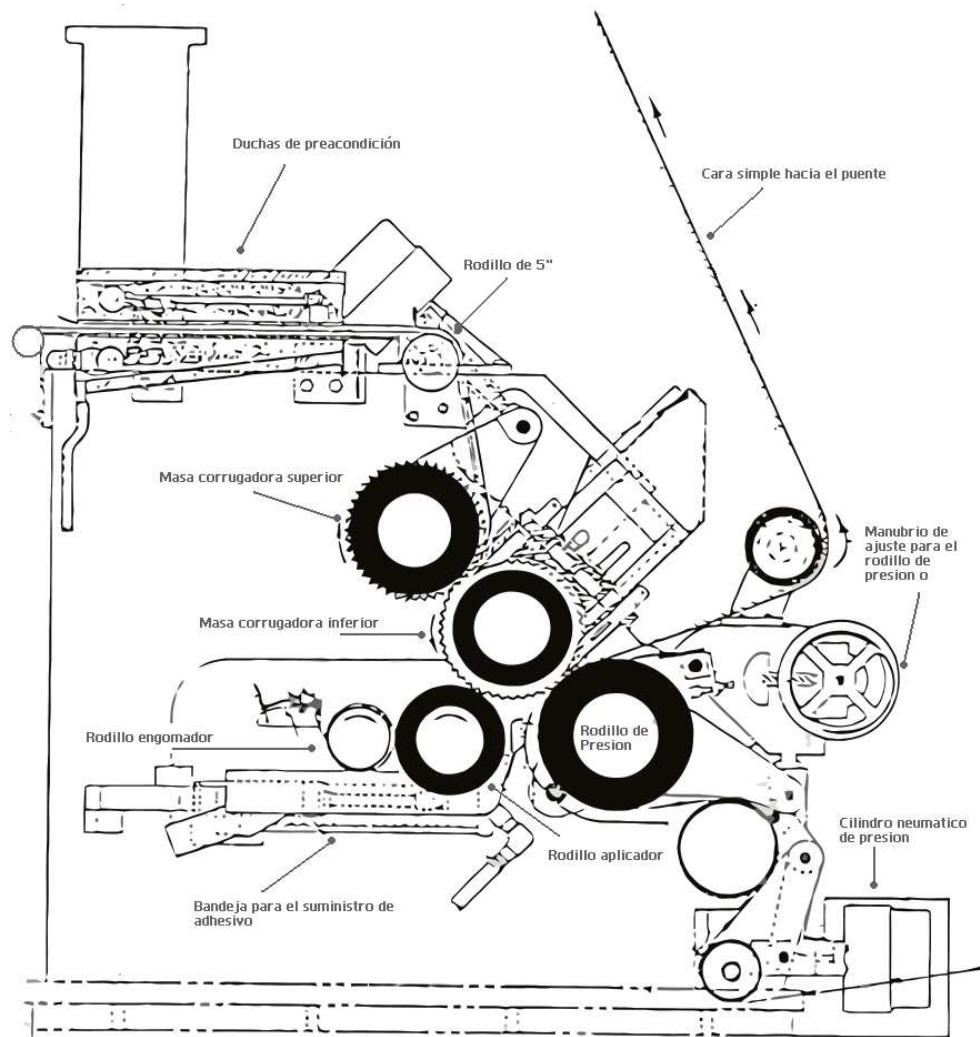
En la etapa de automatización y control se basa en el PLC, dispositivo con la capacidad de controlar procesos por medio de rutinas secuenciales o lógicas previamente programadas, a su vez la interfaz hombre máquina (HMI) la cual permite al operario parametrizar y monitorear las variables del proceso.

10.3 ESTACIÓN DE INGENIERÍA.

Por medio de esta etapa se logra modificar o programar las condiciones del controlado en diferentes lenguajes Ladder, SFC o set de instrucciones.

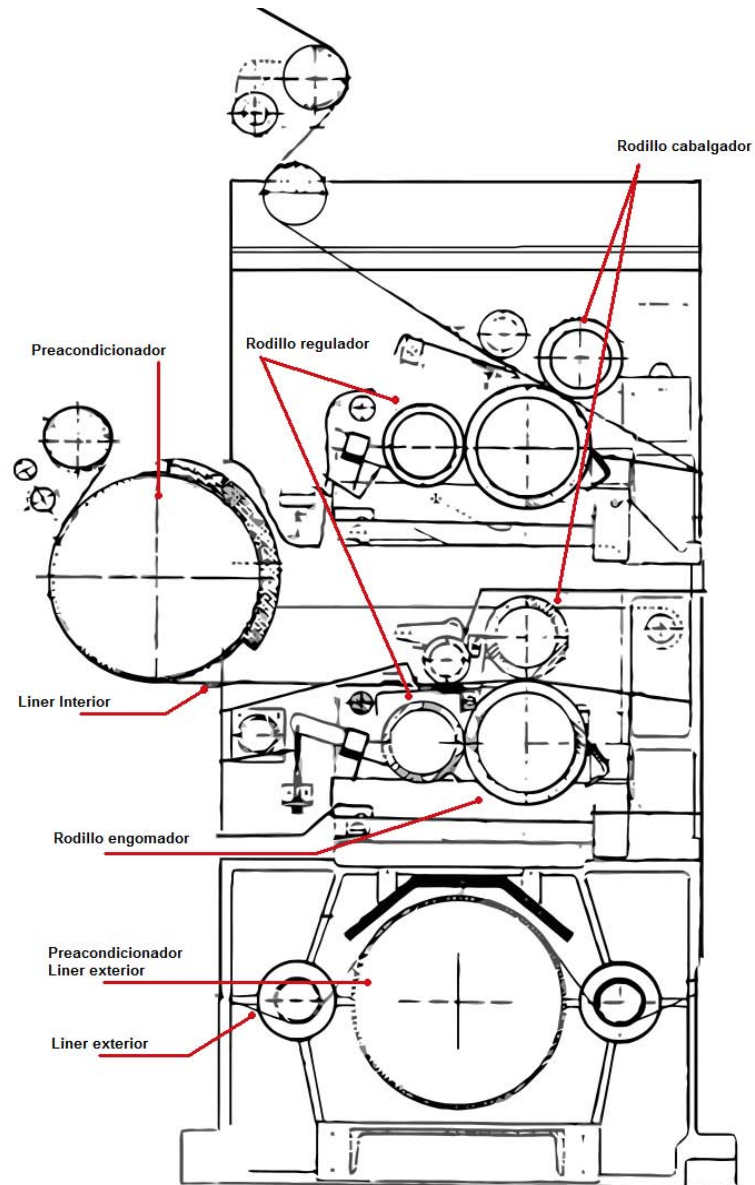
11. PROTOTIPADO

Figura 21. Vista lateral single facer 'C'



FUENTE: LOZANO, Luís Fernando. El proceso de laminado del cartón corrugado. Santa fe de Bogota: empresa, 1998. p.625.

Figura 22. Vista lateral máquina engomadora doble



FUENTE: LOZANO, Luís Fernando. El proceso de laminado del cartón corrugado. Santa fe de Bogota: empresa, 1998. p.626.

Figura 23. Diseño 3D del punto de operación.

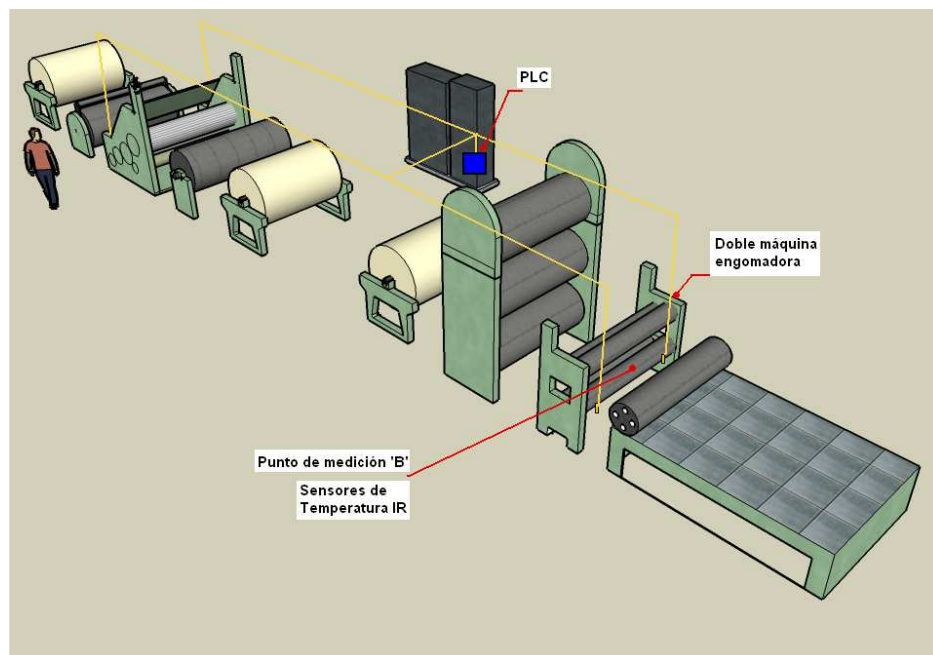
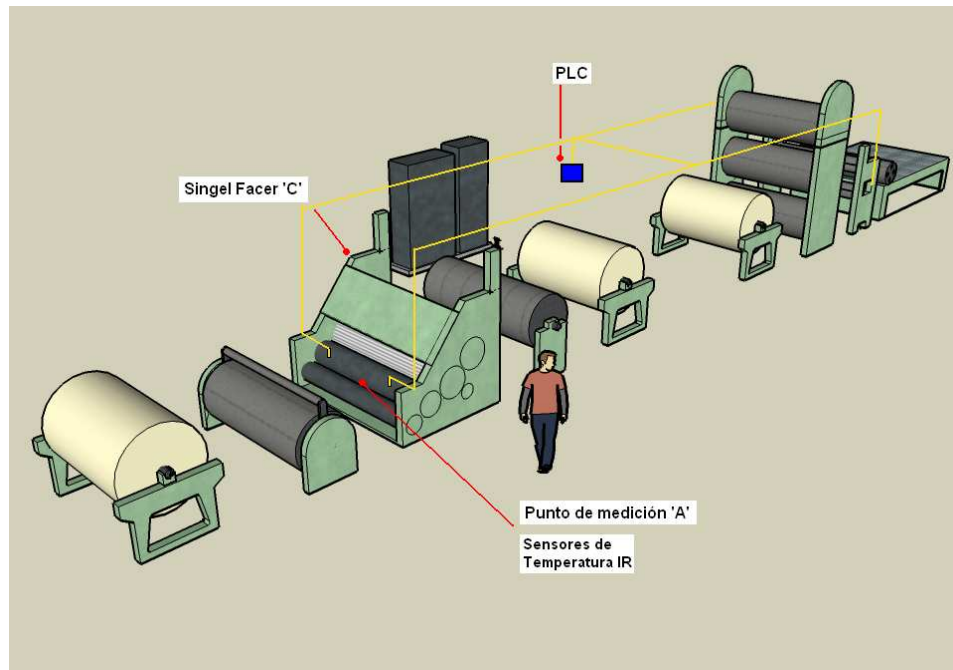
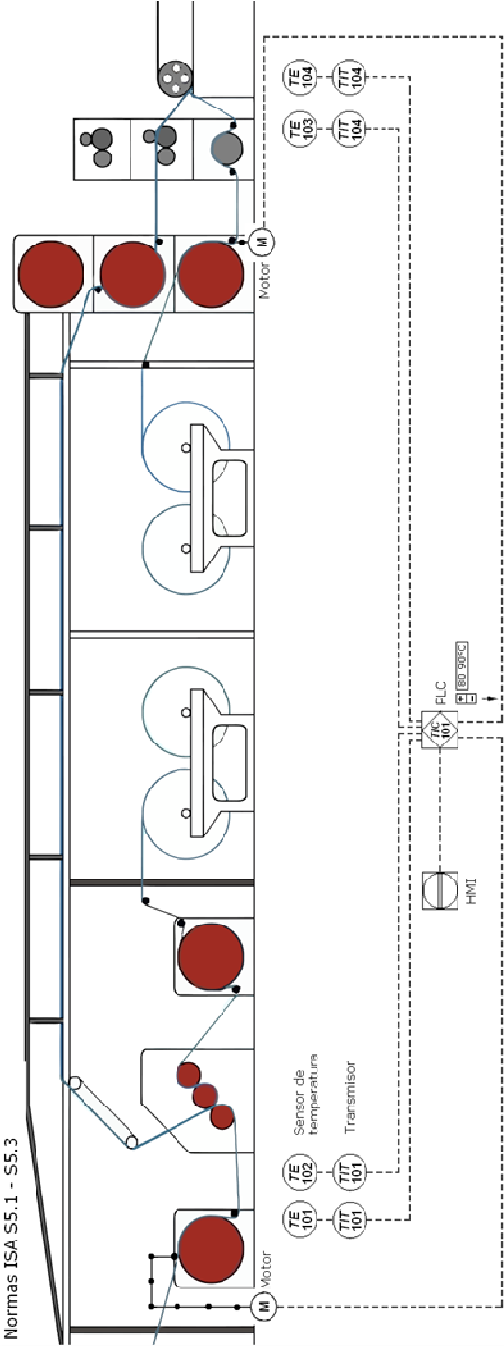


Figura 24. P&ID de la red de control



12. DISEÑO PARA MANUFACTURA

Con el diseño de manufactura se busca estructurar todos los componentes eléctricos y electrónicos que hace parte del diseño y como estos interactúan en conjunto.

12.1 COSTO DE MANUFACTURA

Controlador Lógico Programable (PLC): debido a sus cualidades ya probadas en ambientes industriales es un modulo altamente eficaz en tareas como control procesos en tiempo real, control regulatorio y tareas del tipo secuencial. Los PLC's poseen entradas y salidas digitales o analógicas, además de la posibilidad de comunicarse con diferentes periféricos mediante protocolos de comunicación industrial.

Sensor de temperatura infrarrojo: para ambientes industriales agresivos y a altas temperaturas los sensores ópticos IR (Infrarrojos) cumple con los requerimientos exigidos por el proceso, que consiste en sensar la temperatura superficial del papel kraft liner con porcentajes de humedad relativa, es por ello que es necesario contar con sensores que ofrezcan una buena resolución y repetitividad y buen funcionamiento en ambientes exigentes. En la actualidad existen sensores que tienen salidas de 4 a 20mA, 12 a 24Vcd y 5V, lo que facilita la lectura de las señales por parte de microcontroladores.

Protocolos de comunicación: en la industria es común ver la utilización de diversos protocolos de comunicación entre dispositivos de captación de señales (sensores) y estaciones de procesamiento de datos (plc o microprocesadores). Los más referenciados son: Profibus, rs-232, rs-485, modbus, devicenet, entre otros.

Para la diseño del proyecto en Empaques Industriales Colombianos S.A. se empleara el lazo de 4 a 20mA señal analógica para comunicar el PLC con los sensores de temperatura infrarrojos, puesto que la distancia entre dispositivos es relativamente cerca.

Paneles de teclado táctiles: operados directamente por el usuario generando una interfaz hombre máquina o (HIM), estos dispositivos son sensibles al tacto con la capacidad de comunicarse con plc's y otros dispositivos.

El funcionamiento del sistema se basa en la acción del actuador (motor rodillo arropador) el cual brinda arropamiento al papel por medio de los datos enviados desde el PLC, este ejecuta la orden de dar más o menos arropamiento según

indique las instrucciones con base a los datos generados por los sensores de temperatura IR Infrarrojos.

El funcionamiento básico del sistema consiste en sensar la temperatura superficial del papel con una repetitividad alta, estos datos son enviados al PLC mediante un protocolo de comunicación el PLC se encarga de recibir los datos y decidir con base a las instrucciones que grado de arropamiento se le proporciona al papel mediante el control de la variable manipulada que se le da al motor del rodillo arropador

12.1.2 Finales de carrera. Los interruptores de final de carrera son dispositivos electrónicos que permiten enviar señales al sistema con el objeto de cambiar el estado de una acción.

Tabla 15. Equipos y componentes para el sistema de control

Nombre	Cant.	Existe	Requerimientos
Controlador Lógico Programable - PLC	1	NO	- Debe tener un modulo PID.. - 4 entradas analógicas. - 4 salidas de relé. - 4 salidas digitales. - Capacidad mínima de 64Kb
Modulo de Expansión	1	NO	De no ser suficiente las E/S del PLC, este modulo debe complementarlo. - 4 entradas analógicas. - 4 salidas a relé - 4 Salidas digitales
Software PLC	1	NO	Set de instrucciones para programación. - LD - SFC - FBD
Panel – HMI	1	NO	- Panel de operación de teclas. - Display Texto. - Lectura de variables.
Fuente 24V	1	NO	- Entrada de tensión a 120/240 Vac. - Salida de tensión a 24Vdc. - 2ª.
Sensor de Temperatura Infrarrojo	4	NO	- Rango de medición (0-200°C). - Temperatura de operación >90°. - Resolución <0.5°C. - Alimentación 12-24Vdc; 20mA. - Humedad relativa Max 95% no condensado.

Continuación tabla 15

Transmisores	4	NO	- Entrada Voltaje (0-5Vdc; 0-10Vdc) - Salida lazo de (4-20mA)
Contactores	4	SI	- Vac (220/230; 380/400; 440) Kw(4, 7.5, 7.5,
Cable Comunicación PC/PLC	1	NO	- Comunicación y programación PC/PLC. - Velocidad de transmisión de datos >32Mb/s.
Cable de conexión	1	NO	Interconexión del PLC con periféricos. - Cable con protección. - Longitud de 30mts.
Tablero + Montaje	1	NO	Diseño de montaje de tablero y equipos puesto en marcha. - Tablero. - Botones - Piloto.
Motor AC	2	SI	- Voltios: 440Vac

12.2 TABLA COMPARATIVA DE PROVEEDORES PARA EL SUMINISTRO DE EQUIPOS DE MEDICION Y CONTROL

Tabla 16. Ventas/Desventajas de los competidores

Tabla comparativa			
	Siemens	Allen Bradley	Unitronics
Modelo del PLC	S7-224	Micrologix 1100	M91
Puerto RS485 integrado	✓	✓	✓
HMI integrado	✗	✓	✓
Software de programación HMI libre	✗	✗	✓
Software de programación PLC libre	✗	✗	✓
Salidas a relés integradas	✓	✗	✓
Software de programación OPC libre	✗	✗	✓
Lazos PID's	✓	✓	✓
Operación en tiempo real	✓	✓	✓
Entradas analógicas integradas	✗	✓	✓
Memoria de programa >10Kb	12Kb ✓	4Kb ✗	36Kb ✓
Alta modularidad en equipos PLC	✓	✓	✗
Suministro de sensores temperatura	✓	✓	✓
Montaje de equipos en planta	✓	✓	✓
Diseño e implementación de tablero	✓	✓	✓

Tabla 17. Costo del proyecto por medio de Colsein Ltda.

em	Cant	Descripción	Tiempo de entrega	Valor unitario	Valor total
1	1	Oplc con display alfanumérico de doble línea, 6 entradas analógicas, 6 salidas por rele, 6 entradas digitales marca UNITRONICS REF. M91-2-R6C	45 Días	\$1.207.500	\$ 1.207.500
2	1	Fuente switchada de 24Vdc, 2,5Amp MARCA PHOENIX CONTACT REF.TRIO-PS-1/24DC/2,5	45 Días	\$ 350.000	\$ 350.000
3	4	sensor de temperatura de no contacto salida analógica IP67, Marca TURCK REF. M18T	46 Días	\$ 1.562.00	\$ 6.248.000
4	1	Montaje de equipo en maquina corrugadora incluye: Construcción del tablero de control, conexión de elementos de control, montaje de tablero y cajas de control, construcción de soporte para sensores, instalación de soporte para sensores, instalación de 80 metros de tubería galvanizada, Materiales	6 Días	\$5.712.000	\$ 5.712.000
				Subtotal	\$13.517.000

No incluido I.V.A

Figura 25. Características del PLC M91




Características	
Fabricante	 UNITRONICS
Modelo	M91-2-R6C
Cantidad	1
Voltaje de Alimentación	24VDC
Rango permitido	24.4VDC a 28.8VDC con menos de 10% ripple
Máximo consumo de corriente	130mA @24VDC(pnp E) 180mA @24VDC(npn E)
Entradas	6 entradas digitales incluido 1 de entrada que puede funcionar bien como de alta velocidad, eje de codificador, medidor de frecuencia normal o como entrada digital.
	6 Entrada Analógica
	6 salidas de relé
HMI	Pantalla gráfica
Memoria	448Kb
Comunicación	2 Puertos de comunicación RS232/RS485 (seleccionable)
	CANBUS
	MODBUS
	OPC/ DDE Server
	GSM/SMS soporte

Figura 26. Características del sensor de temperatura infrarrojo



Características	
Fabricante	
Modelo	M18T
Cantidad	4
Voltaje de Alimentación	12-30Vdc
Amp. entrada	100mA
Salida con transmisor	4-20mA
Rango de medición	0-300°C
Precisión	± 0.5%
Temperatura de operación	-20 a 70°C

13. IDENTIFICACION Y UBICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICION

Después de analizar y consultar con los departamentos de producción y mantenimiento, se tomo la decisión de seleccionar dos puntos en donde se deberían instalar los sensores de temperatura infrarrojos, teniendo en cuenta que se debería cubrir la necesidad de medir temperatura tanto en el single facer 'C' como en la doble máquina engomadora.

13.1 Punto A. Esta etapa es inmediatamente anterior al ingreso del papel kraft liner al Single Facer 'C', las características del medio en este punto son agresivas para la mayoría de los sensores puesto que tiene un alto grado de vibración, humedad relativa y temperaturas intensas. Este punto de medición constara de dos sensores ubicados al lado izquierdo y derecho del liner.

Dos sensores cumplirán la tarea de obtener una fiabilidad aceptable en la medición de la temperatura. Ver figura 23.

13.2 Punto B. El punto B ubicado inmediatamente después del la máquina engomadora doble (Double Glue Machine) posee un ambiente de humedad relativa alta, sometida a temperaturas intensas y vibraciones repetitivas.

En este punto será instalado dos sensores al lado izquierdo y derecho del liner con el propósito de adquirir un alto grado de confiabilidad en las mediciones. Ver figura 23.

14. ESTRATEGIA DE CONTROL

Las estrategias de control que existen son diversas y cada una cubre una necesidad específica que requiera cada proceso, es el caso del PID y todas sus combinaciones cuyos parámetros dan solución a la mayoría de los procesos en la industria.

Tabla 18. Clasificación de los controladores

Continuos	Descontinuos
Controlador P	Dos posiciones
Controlador I	Tres posiciones
Controlador PD	Multiposición
Controlador PI	
Controlador PID	

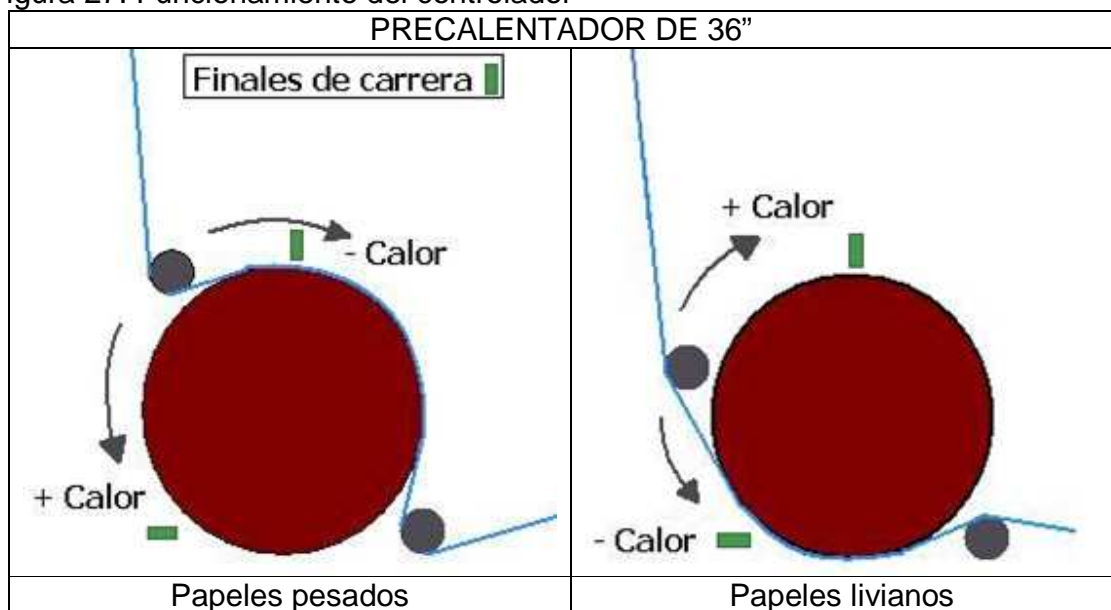
En el control continuo, la variable manipulada puede asumir cualquier valor dentro del rango de salida del controlador. Dentro de las características usuales de un controlador continuo se puede observar el proporcional (P), integral (I) o diferencial (D) o si es una suma de estos elementos.

Un controlador discontinuo, la manipulación de la variable y cambios entre los valores discretos. Dependiendo de cuán diferentes son los estados a manipular, se puede asumir una diferenciación entre los controladores de dos posiciones, tres posiciones y multiposición. Comparado con los controladores continuos, estos son muy simples.

14.1 FUNCIONAMIENTO DEL CONTROLADOR

Para alcanzar el objetivo propuesto de diseñar un controlador que automatice el arropamiento del papel kraft liner contra el precalentador en la corrugadora single facer 'C' y la doble máquina engomadora, teniendo en cuenta la temperatura de ingreso del papel, es necesario primero entender de qué manera se ejecutará dicha operación.

Figura 27. Funcionamiento del controlador



En el diseño de un controlador que regule la temperatura de ingreso del papel kraft liner al single facer 'C' y la doble máquina engomadora, se basa en las señales que envían los sensores de temperatura infrarrojos ubicados después del precalentador.

Los papeles pesados (L50, L60, L75) por tener un calibre mayor necesitan estar expuestos a una mayor superficie sobre el precalentador con el propósito de alcanzar una transferencia de calor idónea. Es por ello que ésta configuración se hace diferente a la configuración con papeles livianos (L25, L45).

Básicamente el sistema trasladará el rodillo arropador mediante un motoreductor de 440VAC a la posición sobre el precalentador en donde el sistema asegure en ese punto una transferencia de calor óptima, para expertos en el tema y basándonos en el estudio estadístico previamente realizado debe estar dentro de un rango de {80 a 90 °C}.

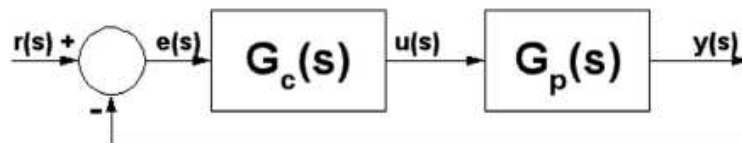
Los interruptores de final de carrera permitirán que el rodillo arropador no se desfase o traslade a puntos sobre el precalentador cuyo efecto sobre el proceso puede ser ineficaz o perjudicial.

Estos dispositivos operan a manera de barrera o tope cuya función es cambiar el estado del rodillo arropador a un estado opuesto, es decir si el rodillo se traslada de izquierda a derecha este se detendrá después de haber accionado el interruptor final de carrera.

14.2 CONTROLADORES

El estudio que se llevo a cabo en Empaques Industriales Colombianos S.A. para diseñar la estrategia de control que más se adapte a los requerimientos, se baso en la sintonización de controladores, herramienta muy útil cuando se desconoce el modelo matemático de un proceso.

Figura 28. Retroalimentación



Para poder sintonizar un controlador $G_c(s)$ como el que se muestra en la Figura 28. Es necesario en primera instancia conocer la dinámica del proceso que se va a controlar $G_p(s)$, para luego obtener los parámetros del controlador, empleado el método de sintonización seleccionado. El proceso de sintonización está basado en dos etapas: identificación y sintonización.

Las técnicas de identificación experimental, se clasifican en:

- Métodos basados en la curva de reacción del proceso.
- Método de oscilación sostenida.
- Método con realimentación con relé.
- Método de control P.

El método basado en la curva de reacción es el único método baso en lazo abierto y se compone de:

- Método de la tangente (Ziegler yNichols).
- Método de dos puntos (Alfaro, Broida, Chen y Yan, Ho, Smith, viteckova).
- Método de tres puntos (jahanmiri y fallanhi, stark)
- Método Strejc.
- Método de las aéreas características de Nishikawa.

Dentro del área de sintonización de controladores exciten varios métodos. Estos métodos fueron desarrollados por diferentes investigadores en el área de control que estudiaron distintos procesos y llegaron a la conclusión, que era perfectamente posible controlar un proceso mediante parámetros preestablecidos.

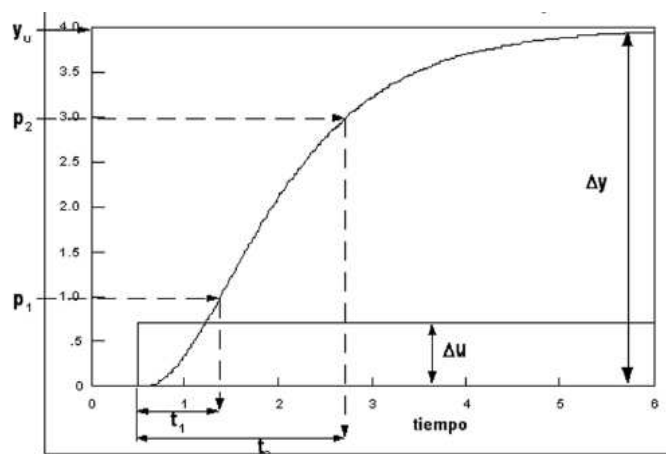
Los métodos de sintonización de controladores dan al diseñador la capacidad de poseer un punto de partida por medio del cual pueda hallar los parámetros de control ideales que aseguren el buen funcionamiento del sistema de control. Para este proyecto se eligieron los métodos de Ziegler y Nichols, Smith y Alfaro, estos dos últimos por ser metodologías de alta precisión.

14.3 IDENTIFICACION DE LA PLANTA (MÉTODOS DE DOS PUNTOS)

El método de Ziegler y Nichols requiere que se trace una recta tangente a la curva de reacción del sistema en el punto de inflexión, esto no es fácil de realizar en todas las situaciones ya que la respuesta puede presentar ruido. Por eso una variación en la pendiente de la recta afecta directamente en el valor de los parámetros de controlador.

Para dar solución a esto se puede identificar los parámetros de τ y t_m mediante dos ecuaciones y dos incógnitas utilizando dos puntos sobre la curva de reacción.

Figura 29. Curva de reacción con base al método de dos puntos



14.3.1 Método de Smith. Este método está basado en dos puntos sobre la curva de reacción y el autor propone que los valores de t_m y τ se seleccionen de tal manera que la respuesta del modelo y la respuesta real del sistema coincidan en la región de alta tasa de cambio entre 28.3%(t_{28}) y 63.2%(t_{63}). Los dos puntos que se recomiendan son $(t_m + 1/3 \tau)$ y $(t_m + \tau)$ y para localizar esos puntos se emplea la ecuación:

$$t_{2s} = t_m + \frac{\tau}{3} \quad (2)$$

$$t_{6s} = t_m + \tau \quad (3)$$

El sistema de ecuaciones también puede verse de esta manera:

$$\tau = 1.5(t_{6s} - t_{2s}) \quad (4)$$

$$t_m = t_{6s} - \tau \quad (5)$$

La ganancia se calcula como $K_p = \Delta y / \Delta u$.

Existen diversos métodos basados en la selección de dos puntos en la curva de reacción, la diferencia de uno frente al otro radica en la selección de los dos instantes en que la respuesta del modelo se hace coincidir con la del proceso real.

14.3.2 Método de Alfaro. Este método como los demás se basa en dos puntos, los tiempos requeridos para que la respuesta alcance el 25% (t_{25}) y el 75% (t_{75}) del cambio total.

A partir de la curva de reacción del proceso a una entrada escalón de magnitud Δu , se determina los tiempos t_{25} y t_{75} y el cambio total en la respuesta Δy .

$$K_p = \frac{\Delta y}{\Delta u} \quad \tau = 0.9102(t_{75} - t_{25}) \quad t_m = 1.2620t_{25} - 0.2620t_{75} \quad (6)$$

El método de primer orden más tiempo muerto por la función de transferencia dada.

Tabla 19. Identificación del Single Facer C

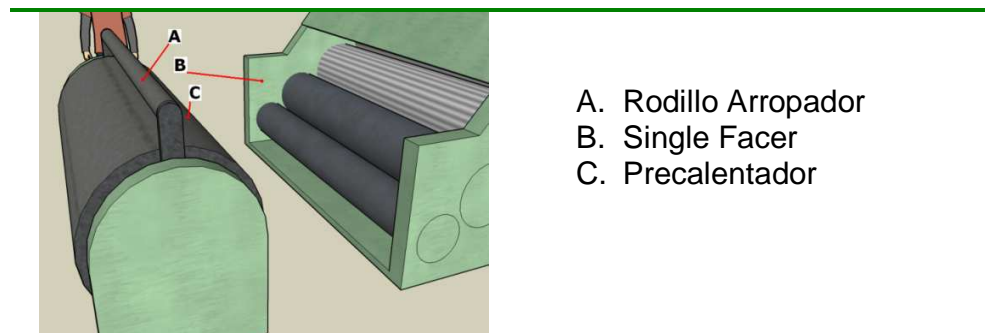


Figura 30. Curva de reacción Single Facer C

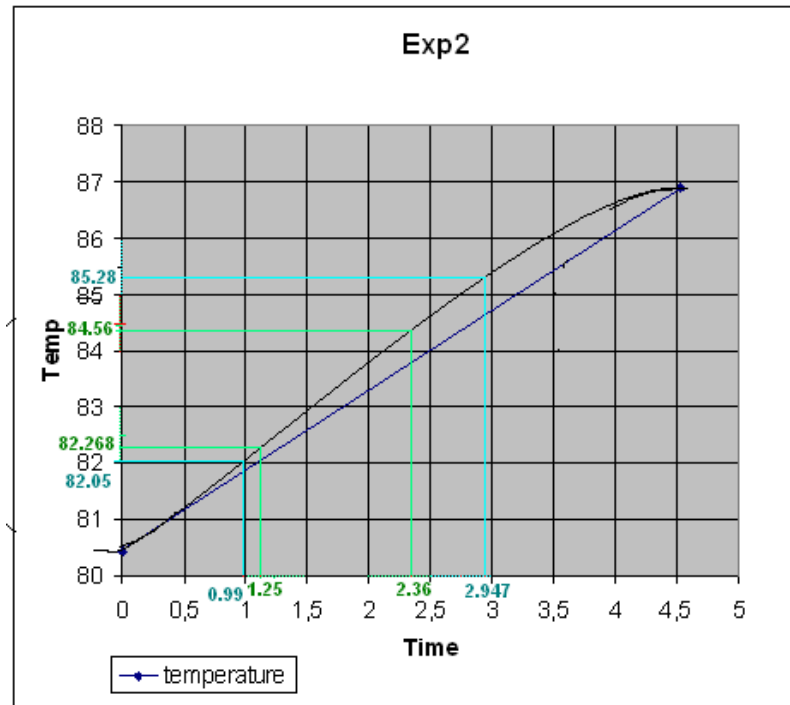


Tabla 20. Representación matemática de la planta Single Facer C.

Método Smith	Método Alfaro
$\tau = \frac{3}{2}(t_2 - t_1) = 1.665$	$\tau = 0.9102(t_{7s} - t_{2s}) = 1.781$
$t_m = t_2 - \tau = 0.695$	$t_m = 1.2620t_{2s} - 0.2620t_{7s} = 0.652$
$K_p = 6.9$	$K_p = 6.9$
$G_p(s) = \frac{K_p \cdot e^{-0.695s}}{1.665s + 1}$	$G_p(s) = \frac{K_p \cdot e^{-0.652s}}{1.781s + 1}$

A pesar que el método de Smith es utilizado con frecuencia en la literatura de control, su error de deja de ser importante más del 50%; los métodos de Alfaro, Chen y Yang y Viteckoá reducen el porcentaje de error de predicción a casi una tercera parte respecto al de Smith, siendo el método de Ho el mejor de todos.

Las diferencias en los porcentajes de error de predicción de los diferentes métodos de dos puntos, están relacionadas con los puntos seleccionados por los autores para hacer coincidir la respuesta del modelo con la del proceso real.

Los métodos de Smith y Alfaro se utilizaron con el objetivo de hallar dos modelos matemáticos que se aproximara lo bastante cerca al modelo original de la planta ver tabla 18.

14.4 PARÁMETROS DEL CONTROLADOR PI

Para la selección de parámetros se baso en las ecuaciones de sintonización propuestas por Ziegler y Nichols. Estas ecuaciones permiten hallar los valores precisos del controlador basándose previamente en la función de transferencia que modela la planta (1).

Tabla 21. Parámetros del controlador con base a la curva de reacción.

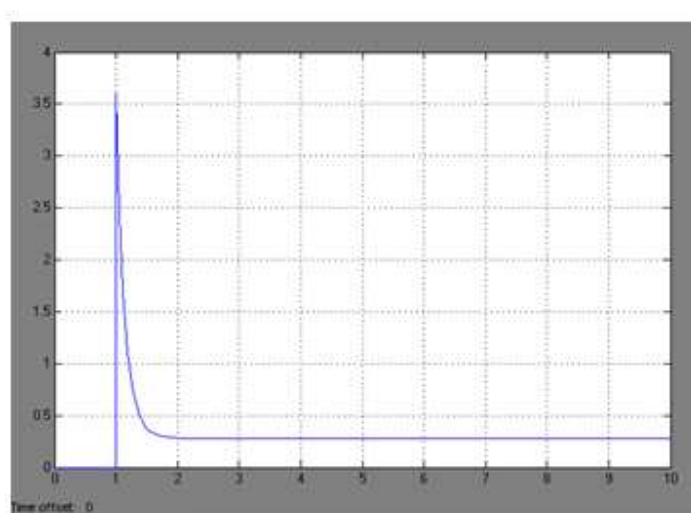
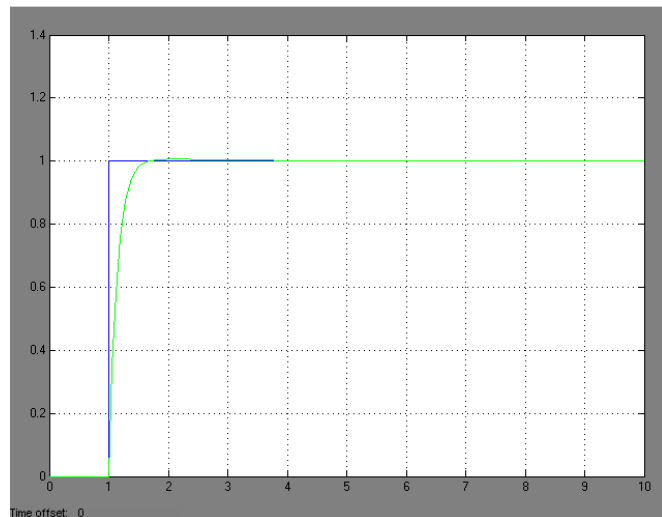
Tipo de Controlador	K_i	T_i	T_d
P	$\frac{T}{K_p L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{K_p L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{K_p L}$	$2.0 \cdot L$	$0.5 \cdot L$

Fuente: "actualización del método de sintonización de controladores de ziegler y nichols" *Víctor M. Alfaro Ruiz, San Jose, Costa Rica*

Tomando el modelo matemático de la planta con base a la metodología de Alfaro se propone un PI para controlar el proceso ya que de acuerdo a la dinámica del sistema, responde de manera correcta a los cambio de entrada del sistema, y se convierte en un sistema que se autorregula.

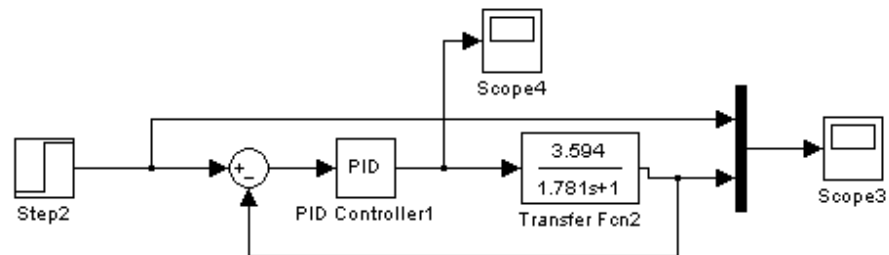
El controlador que se propone a continuación es funcional a ha manera de teoría, la propuesta que se recomienda para dar solución al problema de arripe en el precalentador en la planta de corrugado de Empaques Industriales Colombianos S.A se expone en el capítulo denominado "Control de tres posiciones"

Figura 31. Respuesta de la planta frente al P.I y esfuerzo de control



- Proporcional (K_p): 3.6
- Integral (K_i): 2.31

Figura 32. Esquema del controlador



Para la realización del controlador por sintonización se construyo la curva de reacción tomando como referencia el tiempo (segundos) versus la variación de temperatura (Celsius) entre una y otra posición del rodillo arropador frente al precalentador cuando el proceso de corrugado estaba en funcionamiento.

Cuando se sintoniza un controlador por métodos experimentales en este caso Ziegler y Nichols se busca llegar a unos parámetros de controlador iniciales, los cuales son el punto de partida para dar con la respuesta deseada por parte del diseñador. Este caso se repite en este diseño ya que al calcular el proporcional K_c se obtiene una constante 0.312, pero la respuesta frente a esta ganancia no es del todo satisfactoria puesto que presenta sub amortiguamientos. Es por esto que se opto por incrementar el proporcional hasta una constante de $K_c = 3.6$ y así obtener una respuesta del controlador sobre amortiguado, un tiempo de estabilización de 3 segundos y un esfuerzo de control moderado como se ve en el figura 31.

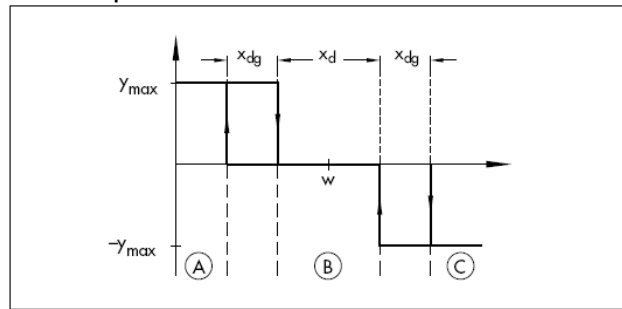
14.5 CONTROLADOR DE TRES POSICIONES

En el controlador de tres-posiciones puede asumir tres diferentes estados de conmutación, para en el caso en particular del Single Facer C los estados del controlador consistirían en las tres posibilidades de operación durante el proceso.

Este tipo de controlador es usado frecuentemente en el control de válvulas en combinación con actuadores eléctricos y actuadores de motor. Aplicando las señales de control adecuadas se obtiene como resultado un cuasi-continuo P, PI o PID en el control de la variable controlada.

Cuando está debidamente adaptado al sistema, la respuesta del controlado de tres posiciones apenas se puede diferenciar al de un controlador continuo e incluso la respuesta puede ser más favorable cuando el ruido de la variable controlada causa disturbios en la señal.

Figura 33. Control de tres-posiciones.



La solución al problema expuesto en este proyecto se dará con base al control de tres posiciones mostrado y explicado en este capítulo.

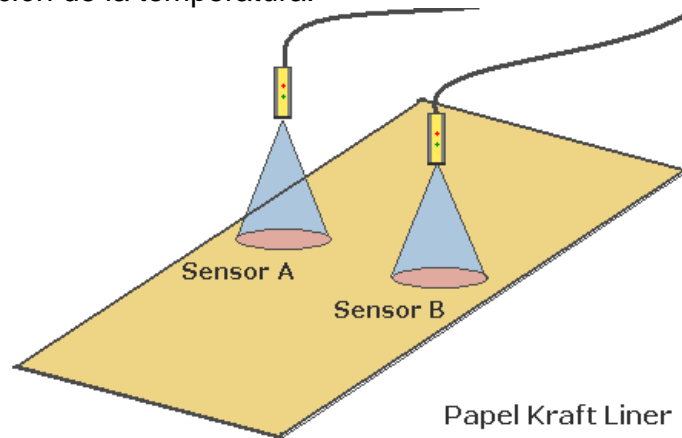
Primer Estado (Temperaturas sobre los papeles menores a 80°C): En este estado uno de los contactores del motor se energizara de tal manera que el motor gire conjuntamente con el rodillo arropador en sentido dextrógiro o levógiro (según el calibre del papel) con el propósito de transferir más calor al papel kraft liner.

Segundo Estado (Temperaturas entre 80°C y 90°C): La planta de corrugado de Empaques Industriales Colombianos S.A tiene como parámetros preestablecidos que el papel kraft liner debe entrar al Single Facer C a una temperatura entre 80°C y 90°C.

Basándonos en esta información el controlador de tres posiciones durante este estado no se energizaran los contactores de manera que el motor AC que mueve el rodillo arropador permanecerá inmóvil, cumpliendo así con lo establecido durante el proceso.

Tercer Estado (Temperaturas sobre los papeles mayores a 90°C): Durante este estado se energizara los contactares del motor de manera que el rodillo arropador gire en sentido dextrógiro o levógiro (según el calibre del papel) con el propósito de transferir menos calor al papel kraft liner.

Figura 34. Medición de la temperatura.



Retomando lo dicho anteriormente, a continuación se explica el comportamiento operativo del proceso, mediante un controlador de tres posiciones.

Este tipo control se basa en desarrollar ciertos criterios de comportamiento, que abarcan o cubren todas las posibilidades de operación durante el proceso de precalentamiento del papel kraft liner sobre el precalentador de 36".

14.6 CRITERIOS DE OPERACION

Estos criterios están basados en el análisis y observación del proceso. Gracias al estudio previo, al dialogo con ingenieros y operarios, se concluye que el rango de temperatura a la cual es recomendable el ingreso del papel kraft liner al Single Facer es entre {80 a 90°C}.

- TA: datos suministrado por el sensor A.
- TB: datos suministrado por el sensor B.
- FC1: final de carrera uno.
- FC2: final de carrera dos.

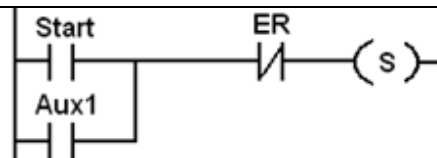
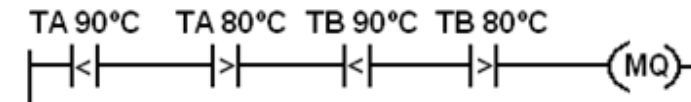
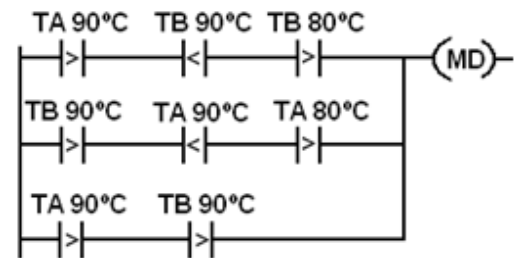
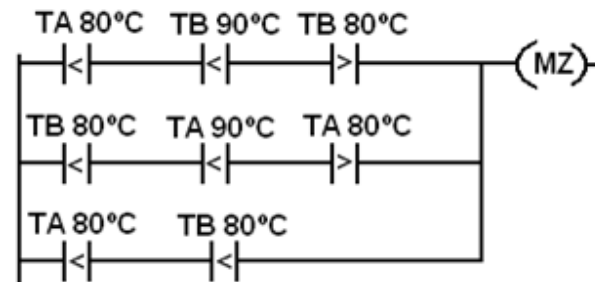
La acción de medir la temperatura sobre el papel mediante los sensores permite procesar dichos datos de manera secuencial por el programa del PLC el cual comprueba que cada acción que se ejecute sea la indicada para llegar al criterio, el cual ejecuta la acción final de control.

En la figura 35 y tabla 19 se explican de manera conceptual y se muestra un bosquejo de escalera (Ladder) de cómo será la programación en el PLC respectivamente.

En el anexo s, se observa la programación dentro del software propio del plc unitronics modelo M91, en esta programación en escalera se tuvo como base los criterios propuestos en la tabla 19 y figura 35.

La programación con el software de unitronics M91, se realizo en función de comparar la señal de Set Point del sistema con la temperatura que arroja cada uno de los señores infrarrojos y es este el punto de partida para los criterios y mapa conceptual expuestos a continuación ver anexo s.

Tabla 22. Criterios lógicos.

Acciones	Criterios
	Inicio y parada
	Sistema no se acciona
	Sistema arropa
	Sistema desarropa

Continuación tabla 22

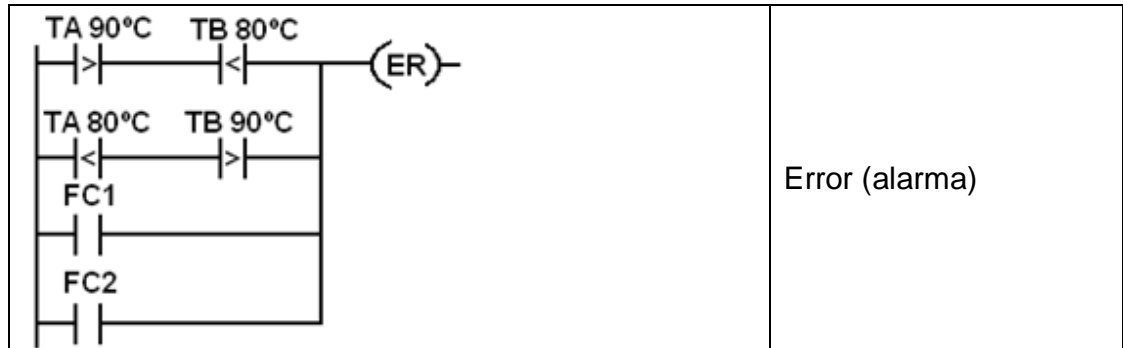
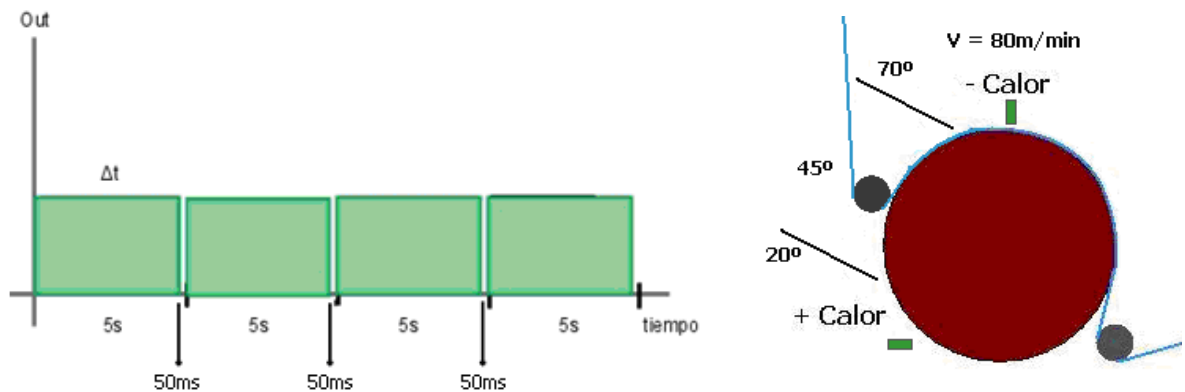


Figura 35. Señal de reloj



En la figura 35, vemos que el ciclo de trabajo se divide en dos partes. Los datos a continuación se llegaron de forma experimental midiendo la temperatura y observando el comportamiento del sistema.

- La primera etapa tarda 5 segundos (Δt) y corresponde al tiempo durante el cual el rodillo arropador ejecuta la acción de arropar o desarropar el papel sobre precalentador de acuerdo a los criterios mostrados en la tabla 19.
- La segunda etapa tarda 50 milisegundos y corresponde al tiempo dispuesto para la toma de datos de temperatura sobre el papel por medio de los sensores infrarrojos.

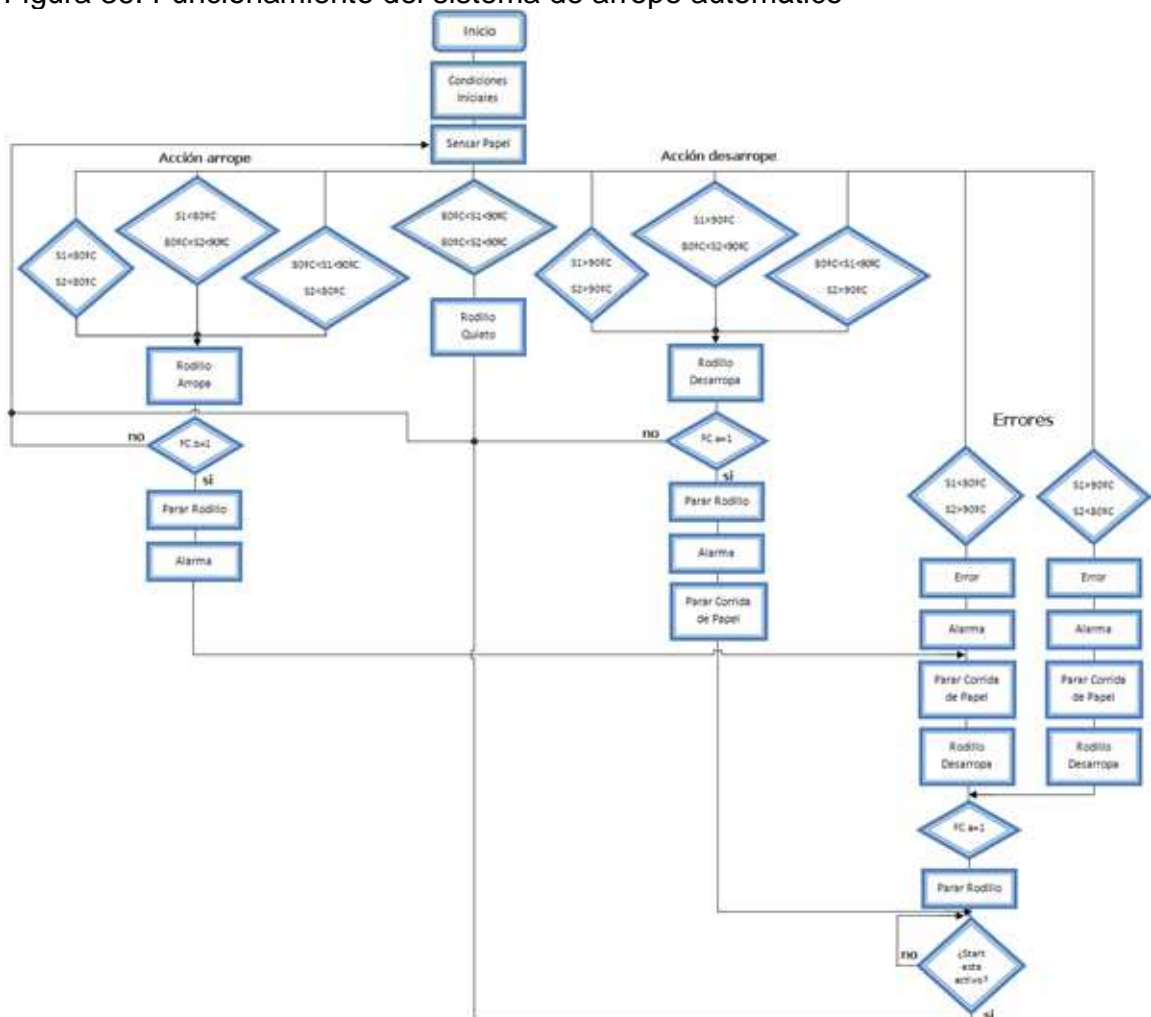
Con ayuda del pirómetro óptico proporcionado por la empresa se analiza que la temperatura promedio a la que viene el papel kraft antes de pasar por el precalentador es de 32°C. La media de la velocidad de corrida durante el proceso de corrugado es de 80m/min (ver anexo J), a esta velocidad y un ángulo de

inclinación del rodillo arropador de 45° se pudo constatar de manera experimental que el papel alcanzaba una temperatura promedio de 85°C al momento de ingresar al single facer y en los ángulos de inclinación de 20° y 70° se corroboró que la temperatura promedio de ingreso del papel corresponde a 80°C y 90°C respectivamente, ver figura 35.

Todo el sistema se maneja con la misma señal de reloj lo que indica que el comportamiento hace referencia a un sistema síncrono.

14.6.1 Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema: a continuación explica el funcionamiento del sistema de arropo automático de papel kraft liner sobre el precalentador para el control de temperatura de ingreso al single facer 'c'

Figura 36. Funcionamiento del sistema de arropo automático



La figura 37 muestra todas las posibles acciones que tendría el sistema si tuviesen dos sensores de temperatura infrarrojos denominados aquí como S1 y S2. En esta misma figura se puede observar que existen dos finales de carrera; FC.a localizado en la parte superior del precalentador y FC.b ubicado en la base, estos dispositivos funcionan a manera de topes para el rodillo de arropo ver figura 27.

Condiciones iniciales

- El papel kraft debe estar enhebrado de manera correcta.
- Retirar cualquier suciedad u objeto que impida a los sensores medir correctamente.
- El PLC, máquinas, motores e instrumentos de mediciones deben estar energizados.
- Verificar la calidad del rollo de papel kraft.

El diagrama de flujo anterior también se incluyó alarmas, estos dispositivos advierten al sistema que esta ocurriendo una falla y es necesario corregir el proceso. Las fallas o errores de medición en el proceso de corrugado por lo general son ocasionadas por la calidad en la que son traídos los rollos de papel kraft desde molino y asegurar una calidad optima 99.9% de las veces no corresponde al alcance de este proyecto.

Es poco probable que haya una descompensación en el suministro de vapor el cual provee de calor suficiente a los precalentadores, teniendo en cuenta que la planta de corrugado posee dos calderas, el funcionamiento de estas se alterna si una de ellas presenta fallas.

Llegado el momento que el suministro de vapor falle que es poco probable pero no imposible, la estación de corrugado single facer 'c' (la estación objetivo del proyecto) dejaría de funcionar y a su vez todas y cada una de las etapas del proceso de corrugado, de manera que el departamento de mantenimiento en EIC S.A vela por un funcionamiento constante durante los turnos de producción.

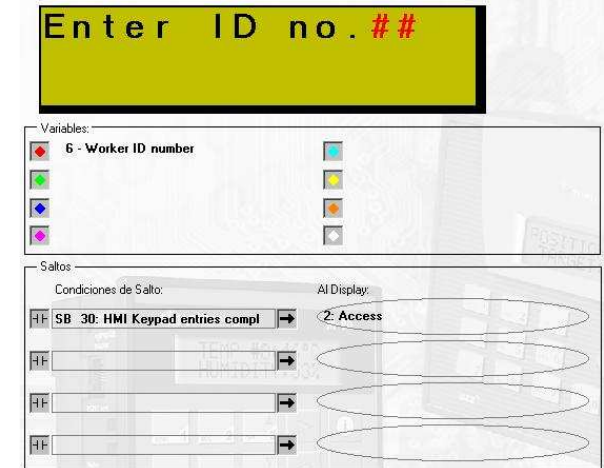
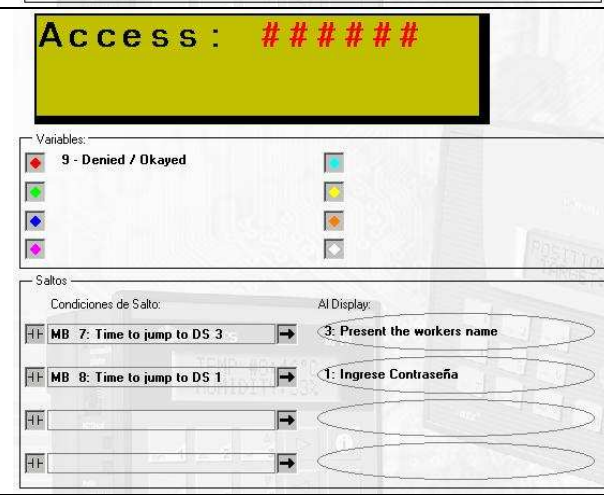
15. DESARROLLO DE LA INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)

Es la herramienta por mediante el cual el usuario puede interactuar y directamente con el proceso con el fin de controlar las variables implicadas y/o monitorearlas

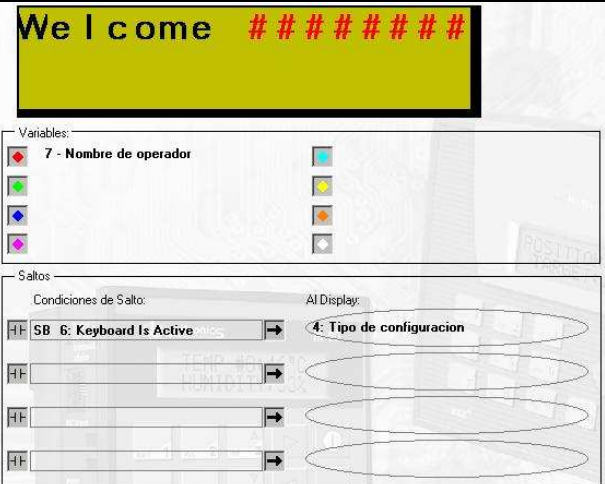


La interfaz hombre máquina desarrollada durante el proyecto y mostrada en este capítulo, intenta facilitar la operación y ejecución de tareas que antes se hacían de manera manual aumentando los tiempo perdidos para que ahora se ejecuten con ayuda del sistema de control diseñado previamente.

A continuación se muestra los diferentes pantallazos del sistema.

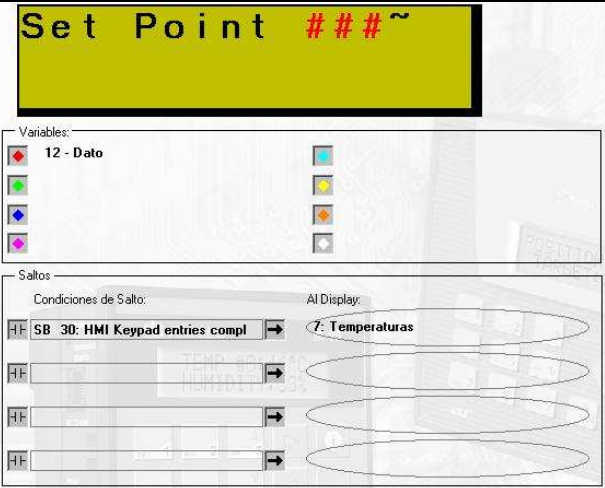
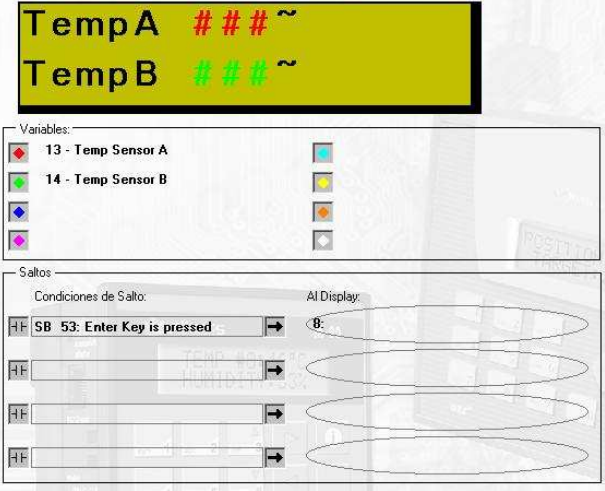
Tabla 23. Representación de HMI's

	<p>Primer pantallazo exige un identificación para ingresar al sistema.</p>
	<p>Esta etapa corrobora la identificación y muestra si el acceso es válido o fallido.</p>

Continuación tabla 23.

	<p>“Welcome” le da la bienvenida al usuario del sistema llamándolo por su nombre</p>
	<p>El usuario debe ingresar uno (1) o dos (2) mediante el teclado alfanumerico para seleccionar el tipo de papel a ingresar (pesado o liviano)</p>
	<p>Corroborar la etapa anterior y muestra el sentido de giro al cual se ve sometido el rodillo arropador.</p>

Continuación tabla 23.

	<p>El usuario deben ingresar al sistema el punto de operación en cual el control va a efectuar operación</p>
	<p>Muestra en pantalla las temperaturas a la cual estan sometidos los liner's del single facer 'C' y la doble máquina engomadora.</p>

16. CONCLUSIONES

- Gracias al estudio realizado al proceso de corrugado en Empaques Industriales Colombianos S.A Palmira se logro recolectar información valiosa para el estudio estadístico y conocer las variables que intervienen en el proceso de corrugado. Durante el desarrollo del proyecto no se tomo en cuenta todas las variables que intervienen en el proceso (velocidad y humedad del papel), esto debido a que estas variables se sale del alcance del proyecto y [1] el propósito real consiste en controlar el arropamiento del precalentador en función de la temperatura superficial del papel kraft. [2] El controlar la humedad especifica con la que vienen los rollos del papel desde el molino es muy difícil de hacerlo en la planta de corrugado, es por eso que el molino tiene sus propios estándares de calidad y procedimientos para reducir la humedad excesiva en el papel.
- Por medio del conocimiento adquirido del proceso productivo se desarrollo una serie de diagramas de flujo que hacen mucho más entendible los subproceso que interviene en la elaboración de láminas de cartón corrugado.
- Con los datos adquiridos del proceso productivo se desarrollo una serie de tablas que correlacionan dos de las variables más importantes del proceso (temperatura y velocidad). Mediante los gráficos se corrobore que a medida que la velocidad de corrida del corrugador disminuía la temperatura sobre el papel kraft liner se incrementaba gradualmente, es decir existía una relación inversamente proporcional.
- Para seleccionar la estrategia de control adecuada es necesario conocer el medio en el cual se va a desarrollar dicho diseño. Es por ello que basándome en la información de los ingenieros, operarios y el propio conocimiento adquirido, se constato que el medio en el cual se pretende desarrollar el control posee cualidad ambientales y físicas difíciles; de esta manera se propuso para este proyecto un PID y una estrategia de control de tres puntos.
- Los equipos más utilizados desde hace varios años para el desarrollo de proyectos de control industrial han sido los Controladores Lógicos Programables (PLC), Para este proyecto se recomendó un equipo Unitronics gracias a sus buenas prestaciones; ahora bien, debido a una no muy buena interpretación del término fiabilidad, no se hizo la mejor ponderación posible, pero esta comprobado en la industria que todas las propuestas en equipos aquí presentadas son fiables.

- El desarrollo de una arquitectura de diseño es crucial, ya que por medio de ella se logra apreciar la interacción de los equipos previamente seleccionados y da una visión global del funcionamiento del sistema de control

- Los sensores de temperatura infrarrojos seleccionados poseen características especiales para el trabajo en ambientes agresivos, como es humedades elevadas y altas temperaturas. Con base a los lineamientos del departamento de mantenimiento se decidió ubicar los sensores encima del papel y no debajo debido a que en esta ubicación los instrumentos serían afectados por la suciedad o desperdicio que expulsa el papel liner al paso por el single facer y a esto se suma el posible contacto con agua, puesto que cada mes está programado un mantenimiento general en el corrugador y este se efectúa limpiando todas las máquinas con agua y cepillo.

- [3] El proyecto tiene un valor de \$13.517.000 pesos colombianos, este valor se paga en el transcurso de 8 meses aproximadamente en el cual la planta de corrugado arroja un desperdicio en cartón defectuoso cuyo costo se eleva a \$18.430.00 pesos

- Se desarrolló un manual de usuario dirigido al personal de planta e ingenieros donde se muestra de manera simple y amigable el funcionamiento del sistema de control, las partes de las que se compone y recomendaciones finales para el uso correcto de los equipos.

- Se logró entregar planos del sistema de control, informes, el diseño del controlador, cotizaciones de instrumentos y equipos al departamento de mantenimiento.

17. RECOMENDACIONES

Por medio del estudio detallado del proceso de elaboración de cartón corrugado en la planta de Empaques Industriales Colombianos S.A. Palmira y mi permanencia en la empresa durante seis (6) meses, tiempo que duro la pasantía para optar el título de ingeniero mecatronico. Como estudiante de último semestre de ingeniería mecatronica de la Universidad Autónoma de Occidente me permito hacer las siguientes observaciones acerca de posibles mejoras en área de automatización de procesos.

Empaques Industriales Colombianos S.A. es una compañía que tiene como premisas ir en pro del mejoramiento de sus procesos de fabricación, proponerse metas con el fin de incrementar la calidad de sus productos y reducir al mínimo los desperdicios. Teniendo esto en cuenta se elaboro una pirámide de automatización para Empaques Industriales Colombianos S.A. Palmira.

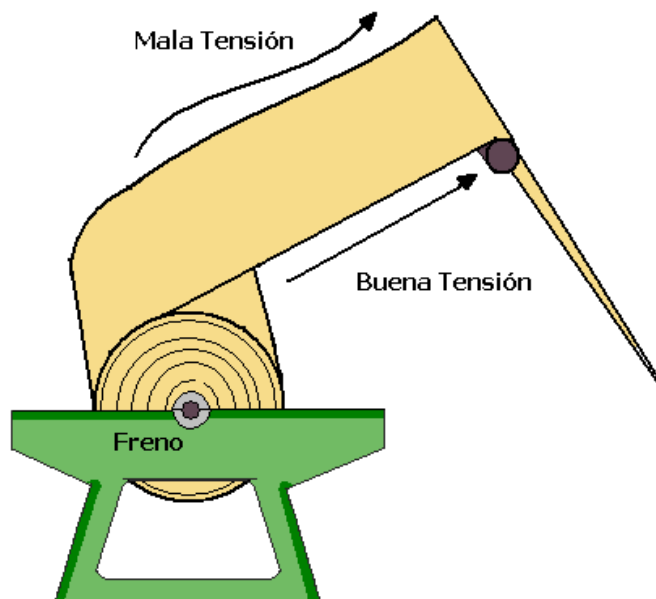
Figura 37. Pirámide de automatización



17.1 CONTROL DE TENSION

Una tensión dispareja a lo ancho del papel, a través de los precalentadores y máquinas corrugadoras son las causas principales de una mala transferencia de calor, de una incorrecta uniformidad de la aplicación de la goma y ocasiona desgastes en los cojinetes.

Figura 38. Montarrollos



El monta rollos manual que esta implementado en la actualidad es el causante de las deficiencias de tensión y esto de debe ha como esta fabricado el montarrollos. Al subir el rollo de papel éste es asegurado por un freno localizado al lado operario lo que produce una ondulación del papel al lado máquina, esto se origina ya que no hay un freno al lado máquina que compense la acción del freno del lado operario.

Este mismo caso se repite en todos los tipos de single facer's y es desde este punto que se origina en gran medido el problema la transferencia de calor entre el liner y los precalentadores. Un liner flojo no podrá adherirse de manera correcta al precalentador por consiguiente no consigue calentarse lo suficiente y tenemos como resultados zonas dentro del liner con diferencias importantes de temperatura.

El rodillo compensador ubicado en la parte superior cuya función consiste en variar su ángulo de inclinación con el objetivo de compensar la mala tensión, no es suficientemente eficiente para tratar el problema de tensión.

17.1.1 La solución. Es por ello que se hace necesario un porta bobinas cuyos frenos de disco a ambos lados del rollo de papel incrementa la tensión y asegura una buena transferencia de calor en las etapas subsiguientes.

Figura 39. Porta bobinas automático



Otros puntos en donde se presentan problemas de este tipo son en el puente guía del corrugador y en la parte superior del tiple precalentador.

17.1.2 Conclusión de la tensión. Al mejorar la tensión del papel en los diferentes puntos en el proceso de corrugado, se obtendrá como resultado un incremento considerable en la velocidad de corrida y un aumento de la productividad.

17.2 CONTROL DE TEMPERATURA

Las diferencias de temperatura a lo ancho del liner son causantes de una mala adherencia entre el médium y el liner, ampollas a lo largo de las láminas de cartón corrugado, fracturas del material y arrugas.

Controlar la temperatura durante el proceso implica automatiza ciertos puntos clave en una corrugadora. Estos puntos consisten en desarrollar una serie de dispositivos que controle de manera automática el abrazamiento o arropamiento del papel kraft liner sobre los precalentadores ubicados a todo lo largo del proceso. Para llevar acabo este paso es necesario contar con una red de plc's previamente programados e intercomunicados por un de los protocolos de comunicación existentes con sus respectivos paneles visuales donde el operario e ingenieros pueda monitorear y controlar la temperatura.

Los beneficios que con lleva la implementación de estos sistemas de control industrial, son en primera medida reducir el material no conforme debido a la exposición excesiva del papel kraft liner al calor del precalentador, segundo aspecto a destacar es la disminución de tiempos perdidos de operación, puesto que se libera de esta responsabilidad al operario, mientras se encarga de otros aspectos durante el proceso productivo.

17.2.1 Conclusión de la temperatura. Teniendo bajo control la tensión y la temperatura es el momento adecuado para incrementar la velocidad de corrida durante el proceso y así alcanzar superar velocidades de 150m/min. Es importante recordar que cuando se aumenta la velocidad de corrida el papel pasara menos tiempo en exposición sobre los precalentadores de esta manera la siguiente recomendación será asegurar la eficiencia en el suministro de vapor

17.3 SUMINISTRO DE VAPOR

Con velocidad de operaciones más altas se requiere una calidad de vapor y un coeficiente de recuperación mejorado que permite una transferencia de calor de manera uniforme desde todos los puntos de la corrugadora. Los sistemas más eficientes de recuperación tienen recibidores condensados a presión para reducir de forma significativa los costos de combustible, el desgaste de las calderas, el tiempo improductivo y los costos de mantenimiento.

17.4 GESTION DE PRODUCCIÓN

Basándonos en todos los puntos anteriores se llega a un aumento significativo en la producción de cartón corrugado, produciendo más en menos tiempo y paralelamente a esto mejorando la calidad del material, lo que permitirá una disminución en las no conformidades y cajas con mejores características físicas facilitando el proceso de impresión y troquelado.

En el mercado existen diversas herramientas de software que automatizan la tarea del planeador, haciendo de esta labor mucho más ágil y dinámica.

BIBLIOGRAFIA

ALFARO RUIZ Victor. Métodos de sintonización de controladores pid que operan como reguladores [en línea]. San Jose Costa Rica: Departamento de Automática Escuela de Ingeniería Eléctrica Universidad de Costa Rica, 2001 [Consultado 15 de Diciembre de 2009]. Disponible en Internet: www.uc.com

CREUS SOLE, Antonio. Instrumentación Industrial. Madrid: Editorial Marcombo 1979. 775 p.

LOZANO, Luís Fernando. El proceso de laminado del cartón corrugado. Santa fe de Bogota: empresa, 1998. 756 p.

LadderTutorial. [en línea]. Tel Aviv: Unitronics, 2004 [Consultado 28 de Octubre 2008]. Disponible en Internet: www.unitronics.com

OGATA Katsuhiko. Ingeniería de control moderno. 2 ed. Mexico: Editorial Prentice Hall, 1993. 1017 p.

OPC_Server_1. [en línea]. Tel Aviv: Unitronics, 2004 [Consultado 15 de Octubre 2008]. Disponible en Internet: www.unitronics.com

SMITH, Carlos Y CORRIPIO, Armando. Control Automático de Procesos. México: Editorial Limusa, 1991. 1010 p.

Technic Information. Controllers and Controlled Systems [en línea]. Alemania: Samson, 2002. [Consultado 30 de Noviembre de 2008]. Disponible en internet: www.samson.com

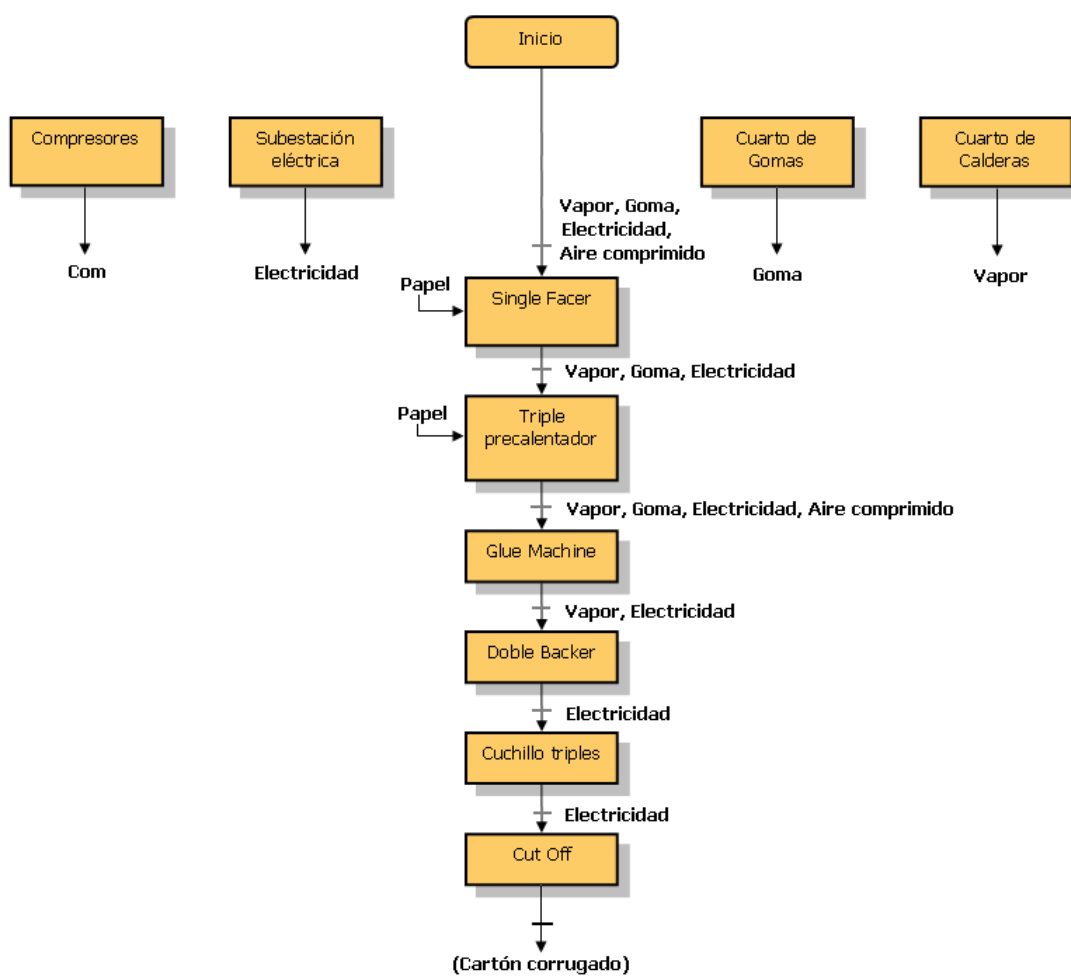
ULRICH, Karl T, Diseño y Desarrollo de Productos. 3ed. Mexico: Editorial Mc Graw Hill, 2004. 366 p.

U90Ladder_Special_Functions. [en línea]. Tel Aviv: Unitronics, 2004 [Consultado 15 de Octubre 2008]. Disponible en Internet: www.unitronics.com

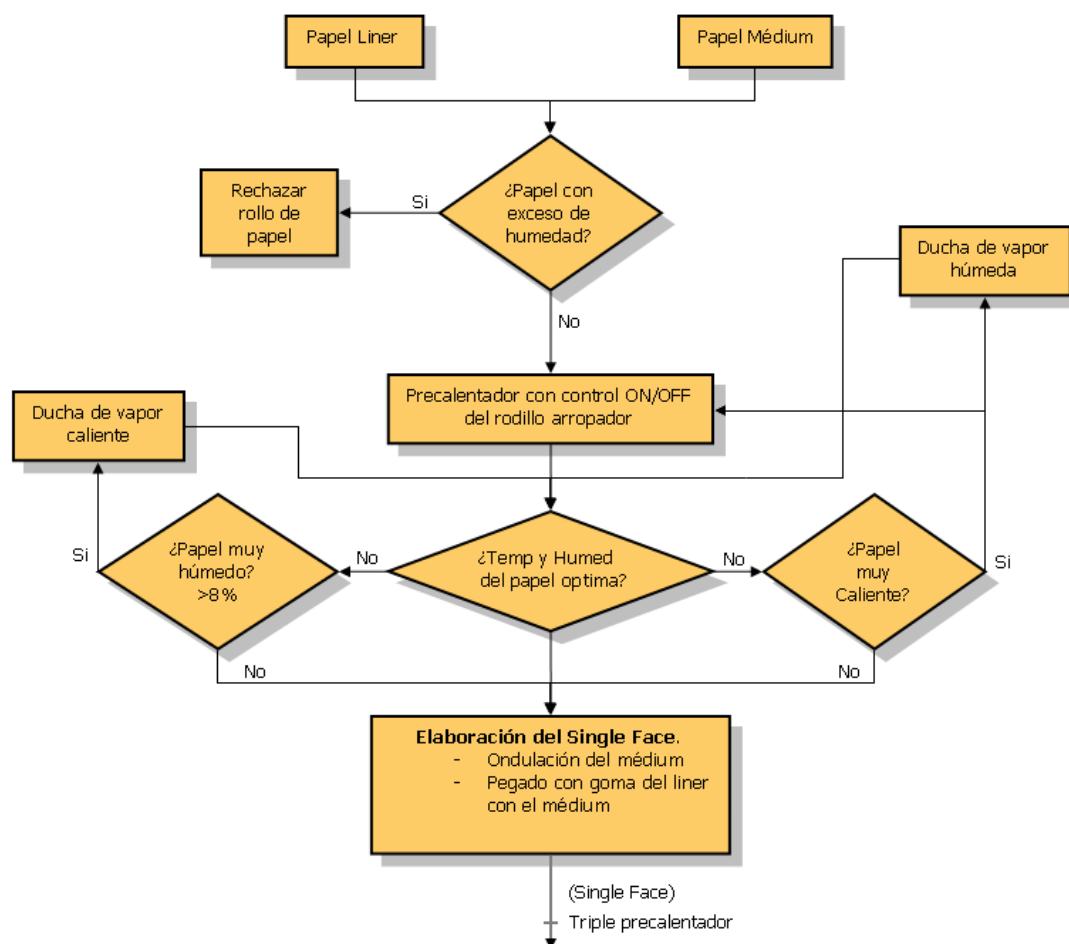
U90_Ladder_Software_Manual_3-60l. [en línea]. Tel Aviv: Unitronics, 2004 [Consultado 03 de Noviembre 2008]. Disponible en Internet: www.unitronics.com

ANEXOS

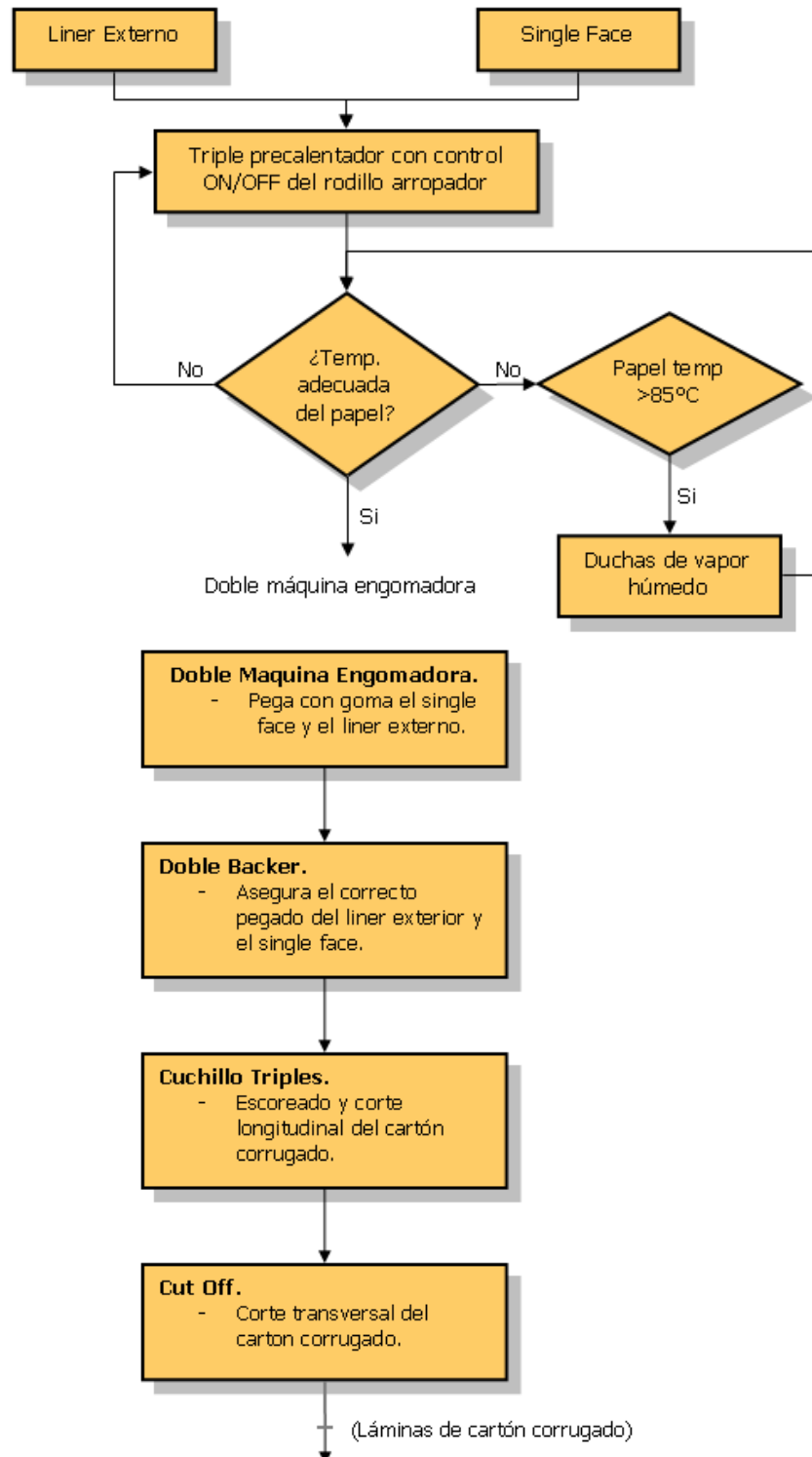
Anexo A. Funcionamiento global del proceso de corrugado en Empaques Industriales Colombianos S.A y sus condiciones iniciales para su operación.



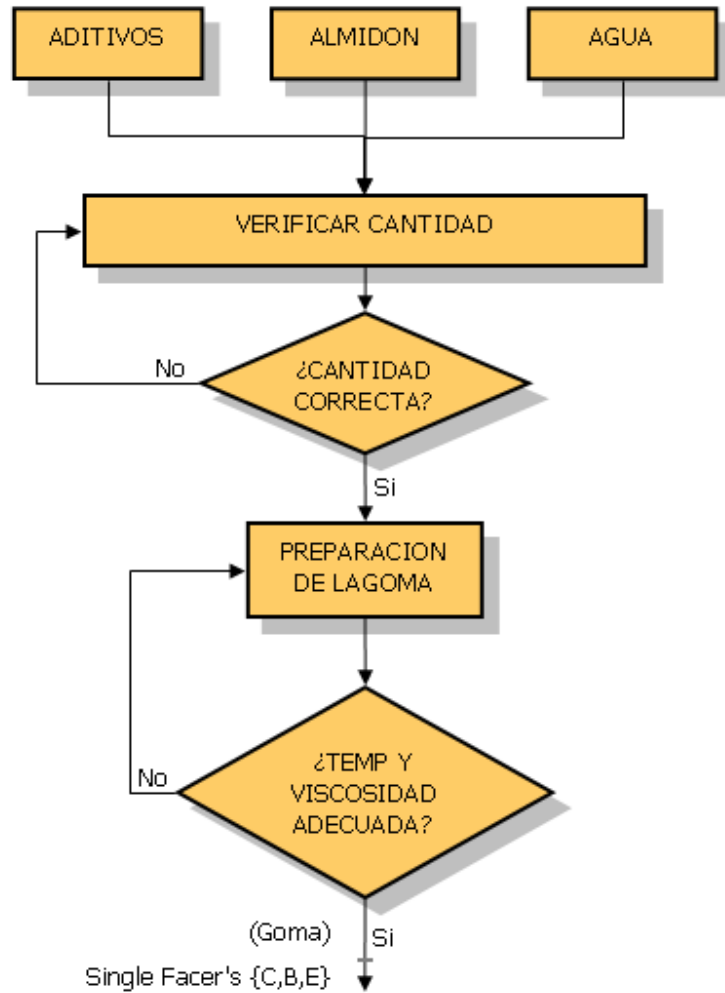
Anexo B. Funcionamiento detallado del proceso de corrugado en Empaques Industriales Colombianos S.A.



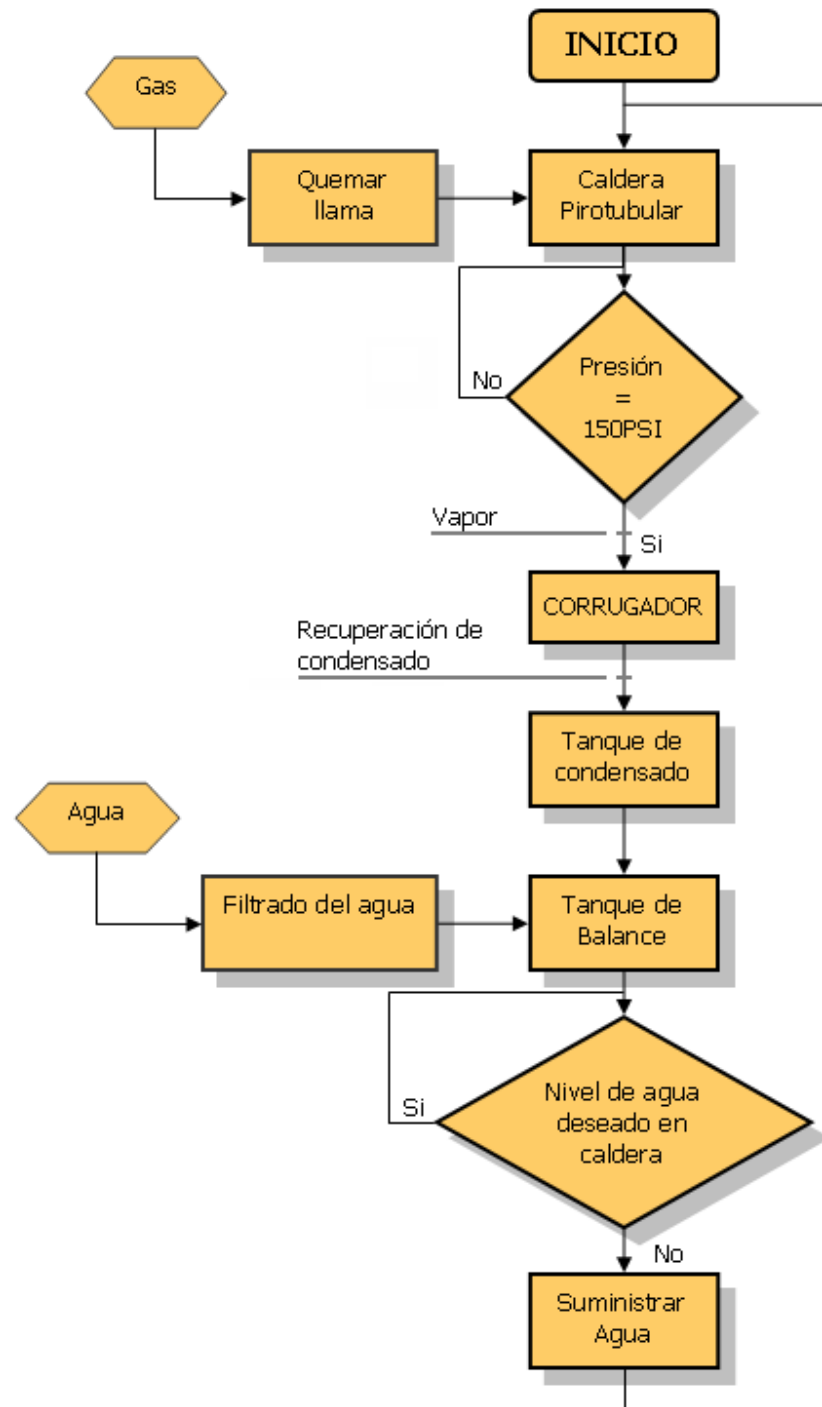
Anexo C. Proceso de corrugado



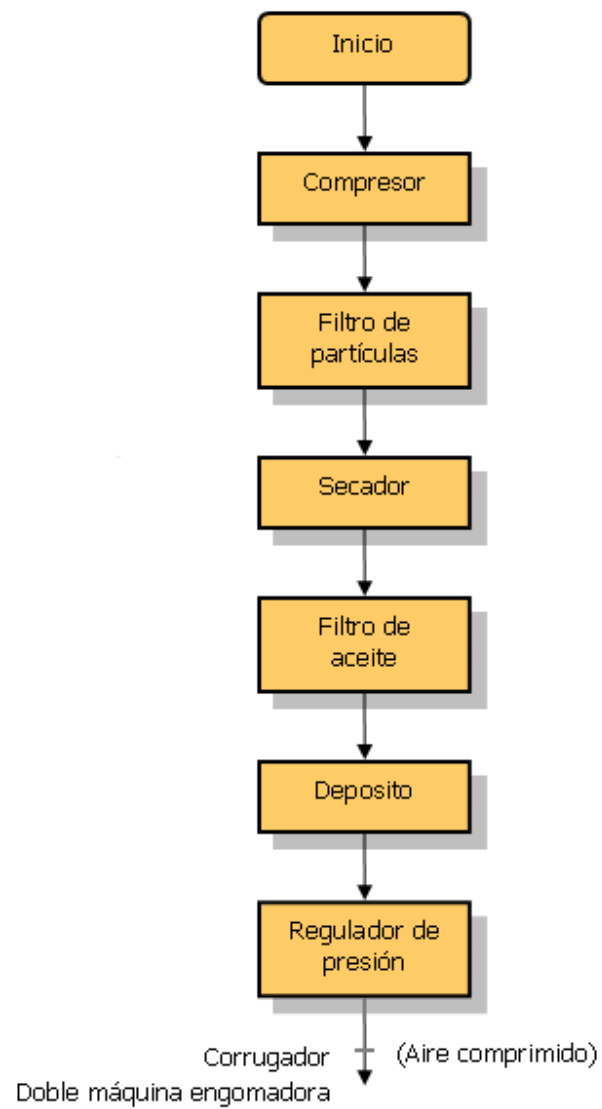
Anexo D. Funcionamiento del cuarto de gomas.



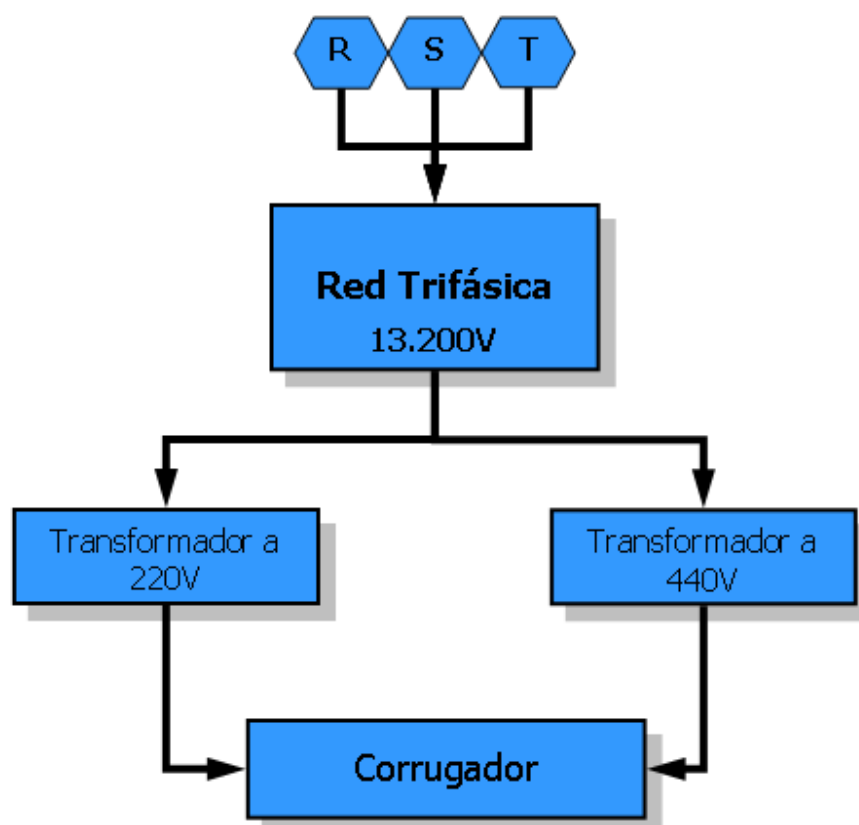
Anexo E. Funcionamiento del cuarto de calderas.



Anexo F. Funcionamiento detallado del cuarto de compresores que proporciona aire comprimido al proceso.



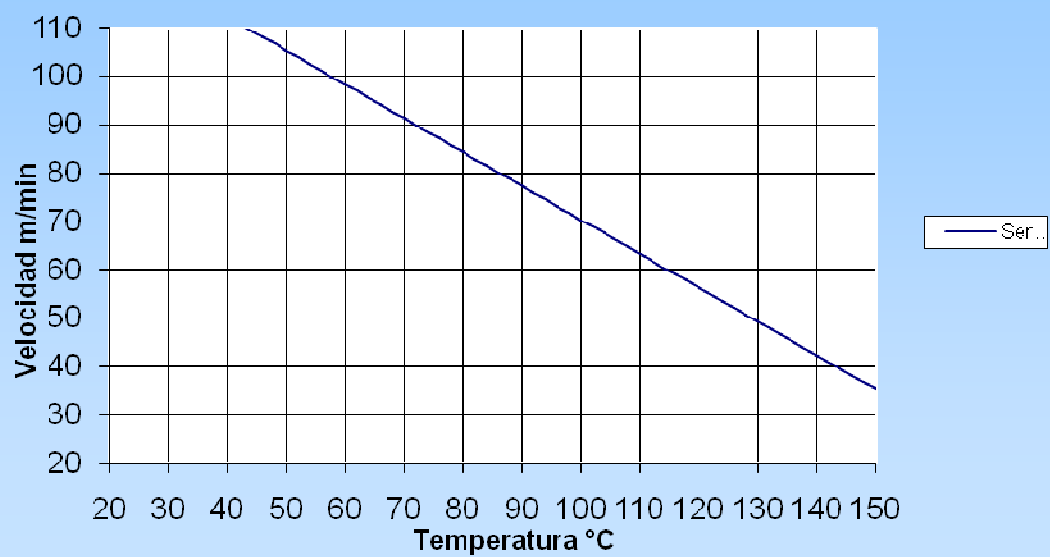
Anexo G. Funcionamiento detallado de la subestación eléctrica que proporciona tensión al proceso de corrugado.



Anexo H. Clave C540 Interior

Velocidad m/min	Temp °C. Ingreso liner interior L25 al SFC								Promedio
83,39	95,00	92,00	82,00	81,50	88,00	89,00	94,00	86,00	88,438
9,39	138,00	136,00	131,00	133,00	135,50	142,00			135,917
22,52	110,00	116,00	104,00	108,00	112,00				110,000
41,68	97,00	93,00	85,00	94,00	92,00	93,00	95,50	91,00	92,563
76,43	80,00	71,00	70,00	65,00	67,00	69,00	73,00	74,00	71,125
95,24	63,00	62,00	58,00	60,00	61,50	68,50	65,50	62,50	62,625
70,48	86,00	84,00	80,00	83,00	85,00	79,00	75,00	76,00	81,000
87,00	72,00	69,50	78,50	75,50	69,50	73,00	74,00	75,00	73,375
18,63	118,00	125,00	121,50						121,500
41,82	95,50	96,50	103,50	97,50	96,00	90,50	99,00	98,00	97,063
87,54	77,00	74,00	84,00	74,50	73,00	76,00	78,50	80,00	77,125
95,24	63,00	62,00	58,00	60,00	61,50	68,50	66,00	65,50	63,063
9,38	137,50	142,50	138,00	136,00	134,00	135,50	140,00		137,643
80,37	71,00	72,50	73,50	78,50	75,50	72,00	79,50	70,00	74,063
93,87	62,00	68,00	63,50	64,50	65,00	68,00	66,00		65,286
9,81	149,00	146,00	141,00	142,00	138,00	138,50	140,00		142,071
80,89	86,50	88,00	89,00	90,50	86,00	91,00	85,50	93,50	88,750
91,16	80,00	79,00	82,00	80,50	78,00	80,50	83,00	82,50	80,688
53,57	100,00	107,00	108,50	100,00	106,50	102,50	108,00	104,00	104,563
19,07	128,00	135,50	130,00	131,00	130,50	129,00	133,00	134,00	131,375
11,64	146,00	144,00	147,00	150,00	146,50	153,50	152,50		148,500
43,75	113,00	130,00	120,00	126,00	127,50	120,00	117,00		121,929
75,00	98,00	122,50	117,00	119,50	120,00	110,00	115,00	121,00	115,375
94,50	89,00	105,00	112,00	117,00	111,00	110,00	103,00	101,00	106,000

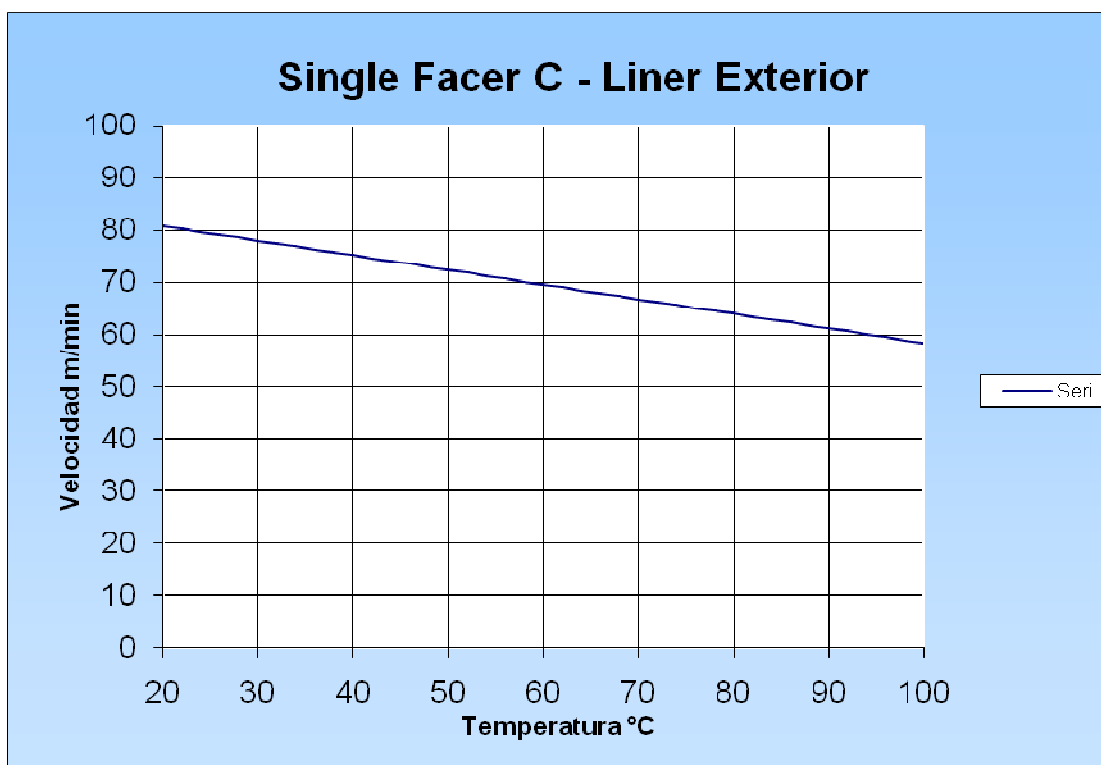
Single Face C - Liner Interior



$$Y = 140.279152 - 0.6994397X$$

Anexo I. Clave C540 Exterior

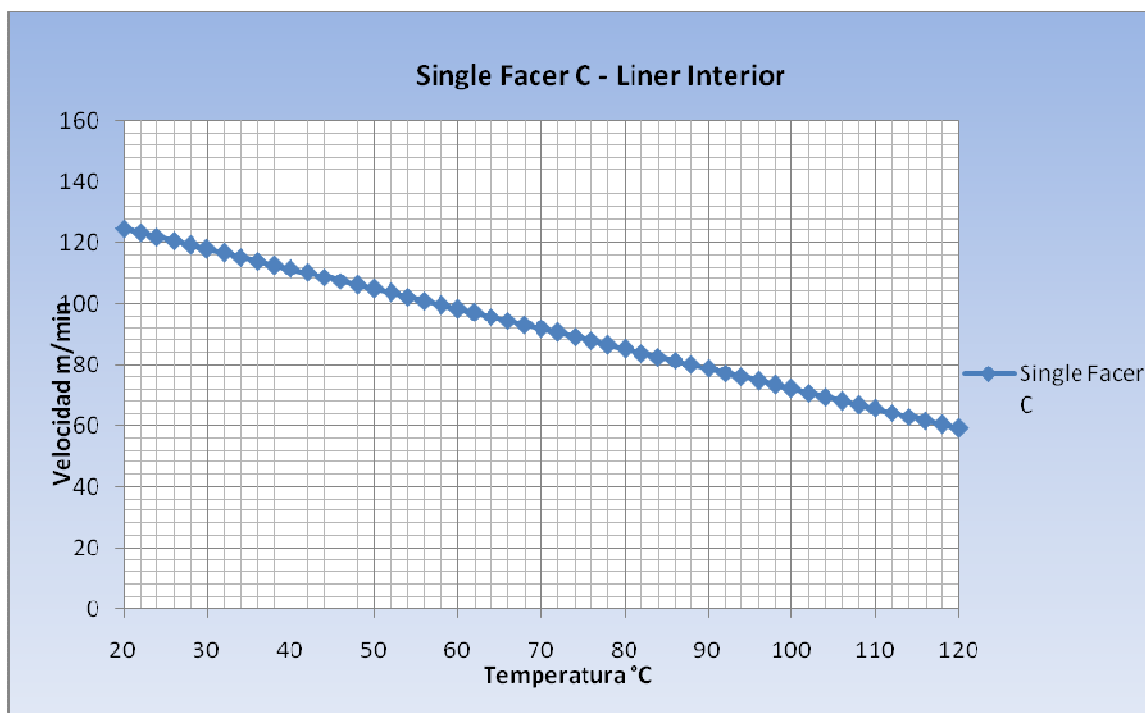
Velocidad m/min	Temp °C. Ingreso liner exterior L25 al SFC								Promedio
11,20	84,00	83,50	90,00						85,833
40,96	71,00	73,00	68,50	79,00	76,00	72,00	73,00		73,214
68,57	71,00	70,00	73,00	72,50	70,00				71,300
81,20	68,20	72,00	71,00	68,50	70,50	72,00	75,50	68,00	70,713
69,18	82,00	85,00	82,50	83,50	79,00	79,50	78,00		81,357
70,74	80,00	84,00	86,00	85,00	84,50				83,900
65,15	61,00	62,50	63,00	60,00	63,50	65,50	66,00		63,071
52,14	70,00	66,50	68,00	69,00	68,00	70,50	67,50		68,500
47,98	71,00	72,50	69,00	73,50	68,50				70,900
77,44	59,00	63,50	61,00	62,50	58,50	56,50	62,50	61,00	60,563
85,69	55,00	52,50	53,00	54,00	60,00	55,50	56,00		55,143
61,57	58,00	60,00	62,50	59,50	61,50	64,50	60,50		60,929
74,24	62,50	63,50	67,00	68,00	70,00	68,50	62,50	66,00	66,000
46,42	68,00	69,00	73,00	72,00	70,50	69,00	68,50	70,00	70,000
80,93	55,00	54,00	60,50	65,50	62,50	55,50	57,00	60,00	58,750
80,60	61,00	52,00	53,50	66,00	61,00	56,00	60,00	58,00	58,438



$$Y = 86.4346 - 0.28041X$$

Anexo J. Clave C620 Interior

Velocidad m/min	Temp °C. Ingreso liner interior L25 al SFC								Promedio
9,05	133,50	140,00	145,50	142,50	138,50				140,000
19,25	123,00	125,00	120,50	118,00	114,00	121,00			120,250
51,70	96,00	100,00	83,00	94,00	96,00	104,00	94,00	95,00	95,250
63,69	82,50	96,00	86,50	74,00	89,00	97,50	79,50	93,50	87,313
80,93	77,00	88,00	84,50	75,00	85,00	76,50	73,00	73,00	79,000
90,15	77,50	70,00	81,00	72,50	80,50	74,50	83,50		77,071
77,65	94,50	91,00	72,00	84,00	87,00	94,00	86,00	83,00	86,438
10,26	145,00	139,00	135,50	140,50	141,50	138,00	142,00		140,214
83,53	110,00	116,00	113,00	114,00					113,250
61,19	123,00	120,00	119,00	112,00					118,500
86,47	78,00	84,00	85,00	84,50	80,00	80,50	81,00	82,00	81,875
72,14	104,00	102,00	112,00	107,00	110,00	113,00			108,000
79,00	101,00	98,00	83,00	86,00	87,00	94,00	93,00	84,50	90,813
80,90	81,50	82,00	76,50	71,50	72,50	63,00	81,00	77,50	75,688
15,37	106,00	106,00	113,00						108,333
60,50	72,50	74,00	84,50						77,000
86,00	64,50	72,50	77,50	74,50	76,00	71,00	75,00	81,00	74,000
20,57	103,00	98,00	113,00	116,00	115,00	128,00	117,00		112,857
74,26	78,00	81,00	81,50	76,00	77,00	82,00	85,00	86,50	80,875
9,52	141,00	144,00	148,50	139,00	140,00	142,00			142,417
31,70	108,00	115,00	114,00	112,00	109,00	111,00	118,00	114,00	112,625
48,65	91,00	93,00	102,00	101,00	98,50	97,00			97,083
79,40	77,50	78,00	80,00	82,50	80,00	81,00	83,50	81,50	80,500
70,72	89,00	98,00	90,50	91,00	92,00	96,00	95,00		93,071
28,60	115,00	120,00	112,00	117,00	109,00	110,00			113,833
9,39	143,00	149,50	147,00	142,00	146,50	142,00			145,000
80,84	86,00	82,50	88,50	87,00	88,00	90,00	82,00	84,00	86,000
51,80	100,50	98,00	106,00	101,00	100,50	106,00	99,00	105,00	102,000
75,58	94,00	89,00	86,00	81,50	83,00	80,00	83,50	90,50	85,938
87,96	73,00	73,50	81,00	83,00	76,00	77,00	78,50	74,00	77,000
9,08	131,00	126,00	116,00	120,00	113,00	126,50	131,00	124,00	123,438
74,40	98,00	93,00	90,50	91,50	96,00	96,50	95,00	99,00	94,938
14,32	134,00	140,00	137,00	140,50	139,00	145,00			139,250
71,63	92,00	96,00	97,00	87,00	98,00	93,00	95,00	96,00	94,250

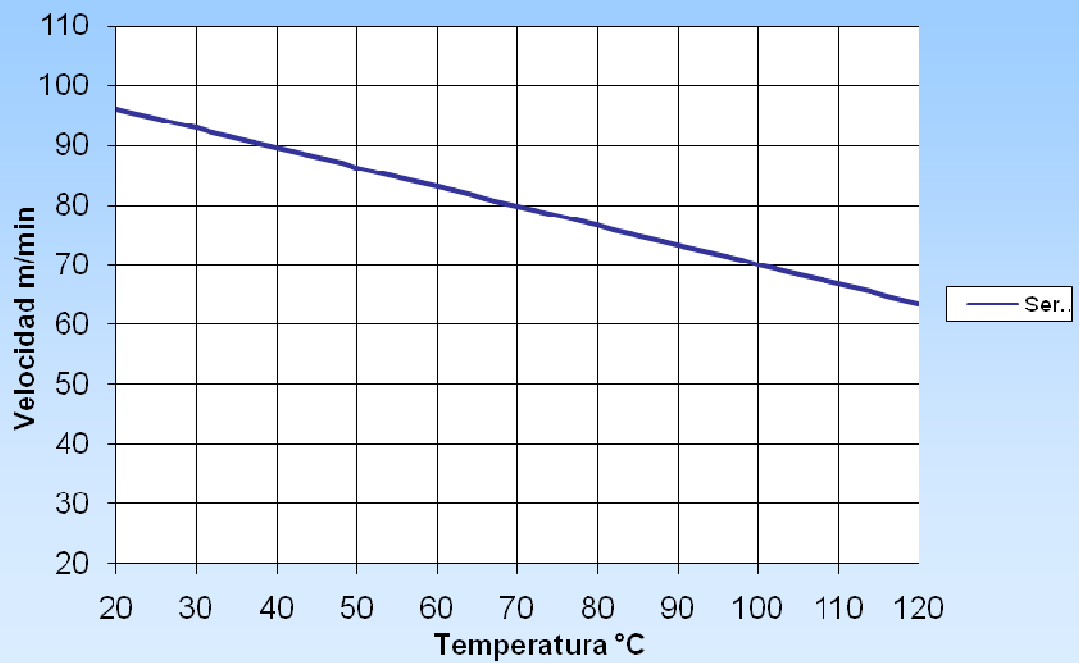


$$Y = 137.431483 - 0.6532969X$$

Anexo K. Clave C620 Exterior

Velocidad m/min	Temp °C. Ingreso liner exterior L45 al SFC								Promedio
63,05	90,00	94,00	89,00						91,000
70,13	92,00	93,00	89,00	88,00	91,00	95,00			91,333
80,06	87,00	88,00	90,00	86,00	87,50				87,700
10,53	109,00	107,00	106,00	104,00					106,500
22,68	100,00	104,00	106,00						103,333
24,58	94,00	97,00	98,00	95,00	97,50	92,50	93,00	95,00	95,250
81,13	78,50	80,00	81,50	81,00	79,50	82,50			80,500
82,60	76,00	72,50	76,00	78,00	79,00	78,50	77,50		76,786
78,40	75,50	76,50	79,00	77,50	81,50	82,00	80,00	76,50	78,563
83,67	56,00	62,00	70,00	78,50	82,00	73,00	74,00	72,50	71,00
58,4	79,00	75,00	79,00	83,50	82,00	79,50	82,00	84,00	80,50
80,82	77,50	76,00	76,50	75,00	78,00	83,00	81,00	79,50	78,313
76,53	85,50	87,00							86,250
59,62	94,50	93,50	92,00	94,50	95,00	96,00	94,00	95,00	94,313
18,80	107,00	110,00	113,00	104,50	106,00	107,00			107,917
40,17	98,00	95,00	99,00	97,50	98,00	95,00	98,50		97,286
70,23	90,00	85,50	85,00	86,50	93,00	91,60			88,600
71,60	69,00	71,50	70,00	72,50	73,00	75,50	70,50	73,00	71,875
82,72	67,00	69,00	70,00	71,00	67,50	68,00	69,50	67,00	70,000
15,32	80,00	83,00	82,00						81,667
63,44	71,00	72,50	68,00	69,00	70,00	72,00	67,00	72,00	70,188
73,00	64,50	70,00	70,50	71,50	68,50	72,00	71,00	72,00	70,000
52,86	73,00	74,00	75,00	76,00	70,00	71,50	74,50		73,429
61,42	76,00	77,00	78,50	75,00	77,00	73,00	75,50	72,50	75,563
28,57	86,00	90,50	91,00	87,00	89,00	94,00	93,50		90,143
49,71	82,00	83,00	78,50	79,00	83,00	80,50	81,00	81,50	81,063
59,15	71,00	74,00	72,50	73,00					72,625
61,45	74,50	75,00	74,00	72,50	75,00	75,50			74,417
77,63	68,00	69,00	68,00	69,50	64,50	70,00	65,00	57,00	66,375

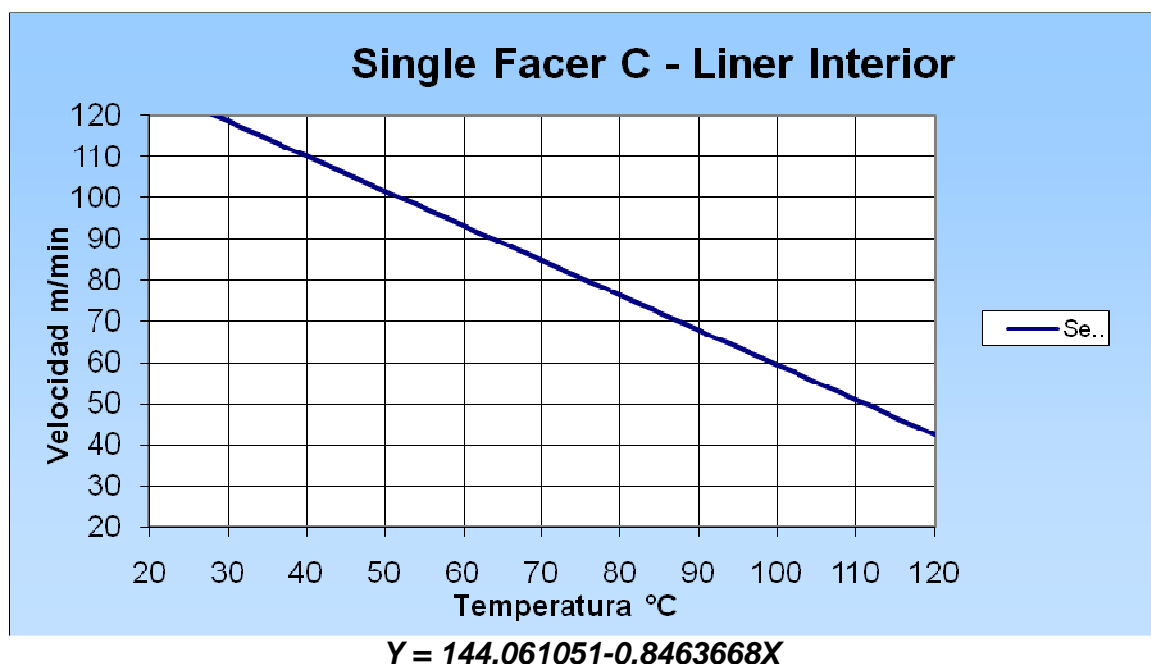
Single Facer C - Liner Exterior



$$Y = 102.624855 - 0.3252994X$$

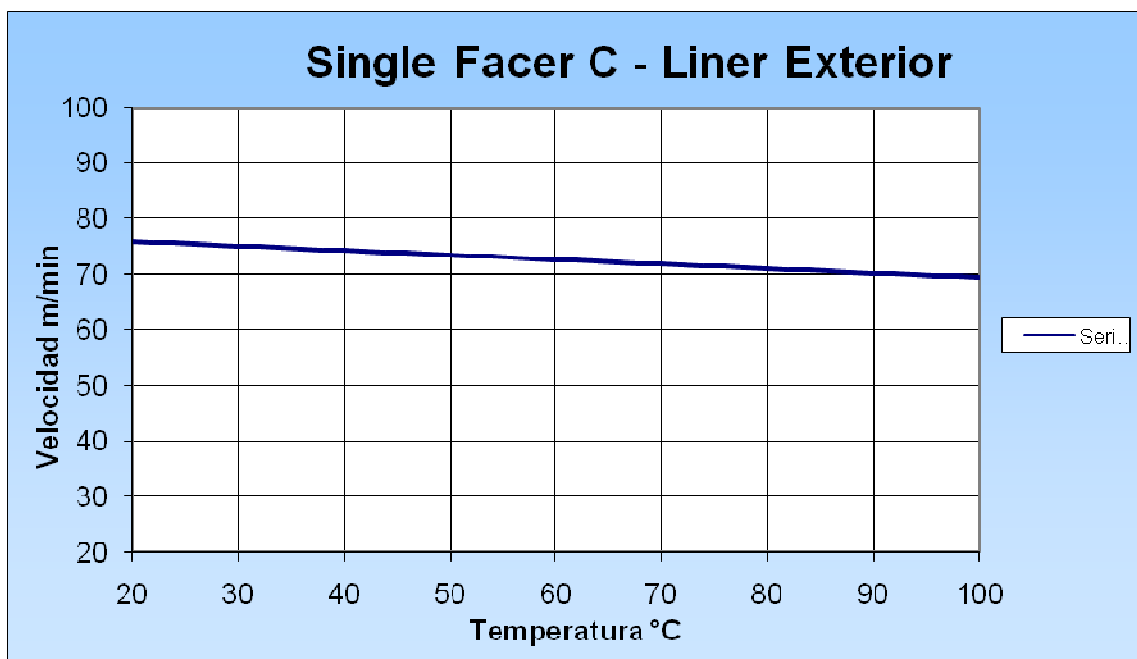
Anexo L. Clave C790 Interior

Velocidad m/min	Temp °C. Ingreso liner interior al SFC								Promedio
9,72	139,00	144,00	145,00	144,00	138,50	141,00	142,50		142,000
71,15	86,00	85,50	87,50	89,50	91,00	92,00	84,00		87,929
89,38	81,00	80,00	48,50	80,50	80,00	81,50	83,00		76,357
80,05	72,50	75,00	76,00	77,00	74,00	80,00	76,50	75,50	75,813
70,55	82,50	78,50	86,00	79,00	81,00	78,50	81,50	80,00	80,875
9,21	145,00	138,00	132,00	135,00	139,00	140,00	143,50	134,50	138,375
82,37	95,00	96,00	83,50	84,50	91,00	88,00	87,89		89,413
75,08	79,00	80,00	70,00	77,00	81,00	73,50	73,00	78,50	76,500
65,99	82,00	83,50	84,00	80,00	82,00	88,00	81,80	82,50	82,975
9,44	141,00	142,00	135,50	140,00	143,00	145,50	139,50		140,929
52,80	88,00	85,00	92,00	78,00	84,00	83,50	90,00	93,00	86,688
59,47	93,00	89,50	85,00	87,50	87,00	91,00	86,50	86,50	88,250
69,94	81,00	82,00	90,00	85,50	84,50	78,00	76,50	83,00	82,563
80,49	76,50	75,00	73,00	78,00	79,50	77,00	71,00	77,50	75,938
76,44	80,00	81,00	85,00	81,50	84,00	84,50	78,00	89,00	82,875
61,66	82,00	90,00	95,50	89,00	87,00	91,00	94,00	87,50	89,500
9,78	117,50	121,00	123,00	127,50	126,00	123,00	125,00	131,00	124,250
75,91	76,00	77,00	81,00	74,00	76,00	78,50	79,00	82,50	78,000
51,84	100,50	98,00	92,00	95,00	97,00	99,00	94,00	88,00	95,438
9,20	145,00	141,00	131,50	141,00	146,00	193,00	136,00	140,00	146,688



Anexo M. Clave C790 Exterior

Velocidad m/min	Temp °C. Ingreso liner exterior al SFC								Promedio
70,60	67,50	66,50	68,00	67,50	66,50	68,50			67,417
63,29	68,00	69,00	71,00	70,00	68,50	70,00	70,50	69,00	69,500
72,40	61,00	63,00	63,50	64,50	66,00	64,50	67,00	65,50	64,375
51,62	71,00	72,00	68,00	72,50					70,875
69,67	65,00	66,00	65,00	67,50	66,50				66,000
35,78	73,00	74,00	75,50						74,167
59,05	77,00	76,00	75,50	72,00	76,50	77,00	75,50		75,643
69,02	72,00	78,00	71,00	70,50	73,50	74,00	69,00	74,50	72,813
51,19	58,00	63,00	60,50	61,00	63,50	62,00	60,50	59,00	60,938
90,56	74,00	79,00	73,50	71,00	77,50	69,00	72,00	75,50	73,938
89,72	70,00	72,00	74,50	69,00	73,00	74,50	71,50	74,00	72,313
58,72	76,00	80,50	80,00	76,50	80,00	81,00	79,50	77,00	78,813
64,49	74,00	74,50	76,50	75,50	75,00				75,100
91,79	72,50	73,00	72,00	73,50	72,50	69,00	70,50	71,50	71,813
48,64	74,00	75,50	81,00	83,50	80,00	79,00	81,00	82,00	79,500
89,20	74,00	76,00	77,50	73,00	71,00	71,50	72,00	72,50	73,438
21,30	80,00	85,00	83,00	81,00	84,50	80,50	79,50	79,00	81,563
90,25	71,00	72,00	69,00	69,50	72,50	69,00	72,50	68,50	70,500

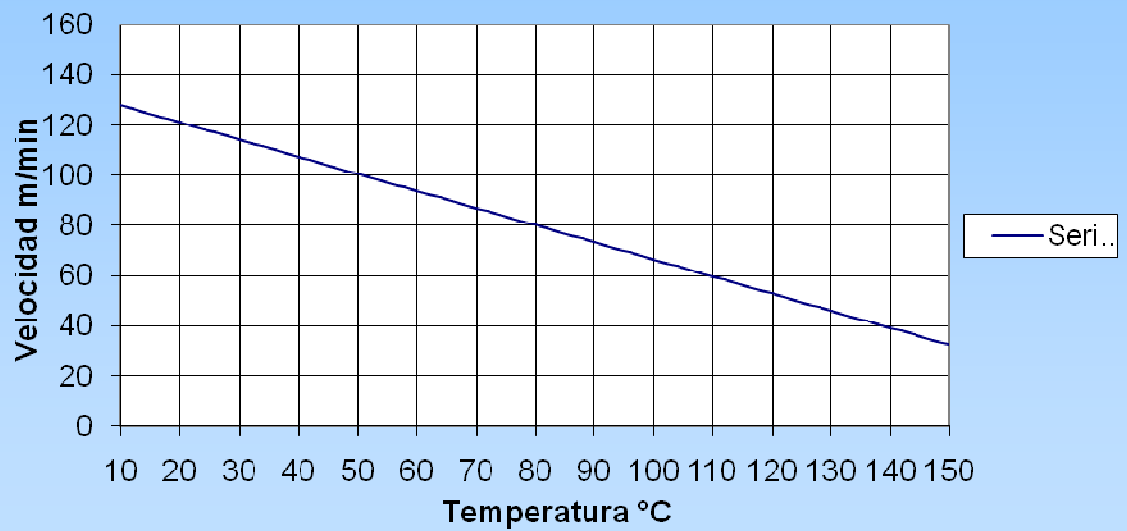


$$Y = 77,5571076 - 0,0819767X$$

Anexo N. Clave C930 Interior

Velocidad m/min	Temp °C. Ingreso liner interior L75 al SFC								Promedio
9,89	121,50	122,50	119,00	125,50					122,125
63,15	81,00	83,50	84,50	82,50					82,875
64,22	83,00	84,50	81,00	80,00					82,125
56,14	97,00	94,00	90,00	102,00	95,00	101,50	98,50	100,00	97,250
66,53	100,00	101,00	98,00	96,50					98,875
9,90	139,00	135,00	130,00	140,00	132,50	133,50			135,000
13,15	126,00	130,00	132,00	124,00	122,00				126,800
52,08	95,00	90,00	93,00	82,50	94,50	96,50			91,917
9,51	133,50	135,00	139,00	139,50	137,00	135,00			136,500
62,32	93,00	95,00	98,00	95,50	97,00	98,50	100,50	94,50	96,500
70,01	92,50	96,00	96,00	96,50	99,00				96,000
38,53	112,00	106,50	108,00	111,00	103,00	110,00	101,00		107,357
62,06	100,00	102,00	103,00	98,00	95,00	100,50	99,00	101,00	99,813
84,51	85,00	88,00	89,00	90,50	91,00	84,50	85,00		87,571
9,64	137,50	144,00	140,50	142,00	143,00	134,50	142,00		140,500
70,99	84,50	90,00	91,50	90,50	89,50	87,00	92,00	95,00	90,000
55,48	94,00	96,00	93,00	95,00	94,50	96,00	91,00	97,00	94,563
26,73	114,00	119,00	118,00	111,00	112,00	120,00			115,667
66,23	85,00	83,00	82,50	86,00	85,00	82,50	83,00	83,00	83,750
22,77	111,00	112,00	107,00	115,00	118,00	113,00	112,00		112,571
49,14	90,00	94,00	97,00	94,00	93,50	90,00	94,50	91,50	93,063
71,50	84,00	87,00	85,50	82,50	87,50	86,50	78,00	88,00	84,875
35,89	97,50	101,00	102,00	103,00	100,50	99,50			100,583
75,85	80,00	84,00	84,50	85,00	86,00	81,00	85,00	85,50	83,875
86,09	74,50	83,00	83,50	74,50	82,50	84,00	84,00	82,50	81,063

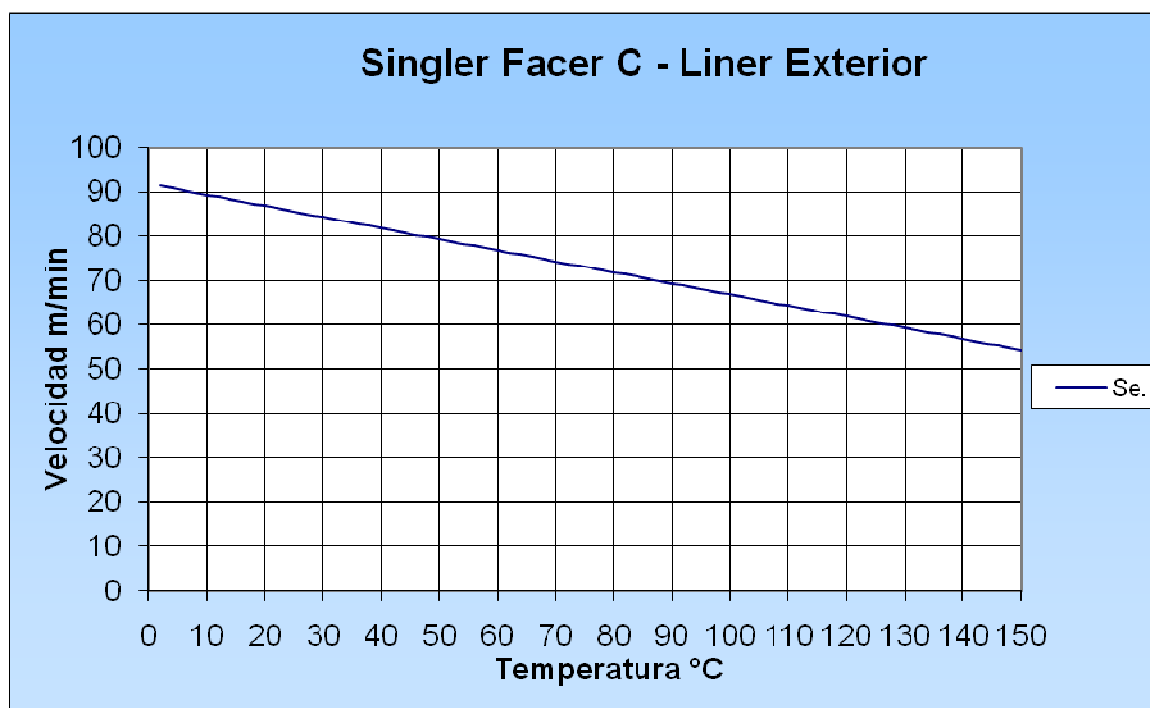
Singler Facer C - Liner Interior



$$Y = 134.90553 - 0.6825415X$$

Anexo O. Clave C930 Exterior


Velocidad m/min	Temp °C. Ingreso liner exterior L75 al SFC								Promedio
73,57	76,00	78,50	77,00	69,00	80,00	78,00	76,50	71,00	75,750
63,97	73,00	73,50	74,00	76,00	78,00	77,50	73,50	76,50	75,250
59,19	76,50	80,00	81,00	79,00	78,00	80,50			79,167
71,91	69,00	70,00	76,50	74,00	74,50	75,00	69,50	72,00	72,563
68,93	79,00	84,00	82,50	81,00	80,00	81,50	86,00	84,00	82,250
81,62	66,50	65,00	68,50	69,00	67,50	68,00	64,50		67,000
52,59	69,00	73,50	70,00	72,50	70,50	73,50			71,500
73,80	74,50	73,00	70,00	71,50	73,00	74,50	75,00	73,00	73,063
66,73	74,00	72,00	74,50	74,00	75,50	73,50	76,50	77,00	74,625
64,51	75,50	76,00	76,50	77,00	78,50	76,50	75,00	77,00	76,500
64,25	69,50	74,50	75,50	73,50	75,00	76,00	76,50	75,50	74,500
63,78	78,50	77,50	79,00	76,00	79,00	79,00	75,00	79,00	77,875
35,99	80,00	83,00	85,00	82,50	85,50	83,50	82,00	83,00	83,063
51,20	81,00	82,00	83,00	83,00	79,00	82,00	82,50	80,00	81,563
62,46	76,00	75,00	77,50	76,00	75,00	77,50			76,167






$$Y = 91,9461857 - 0,2497268X$$

Anexo P. Especificaciones técnicas del pirómetro digital

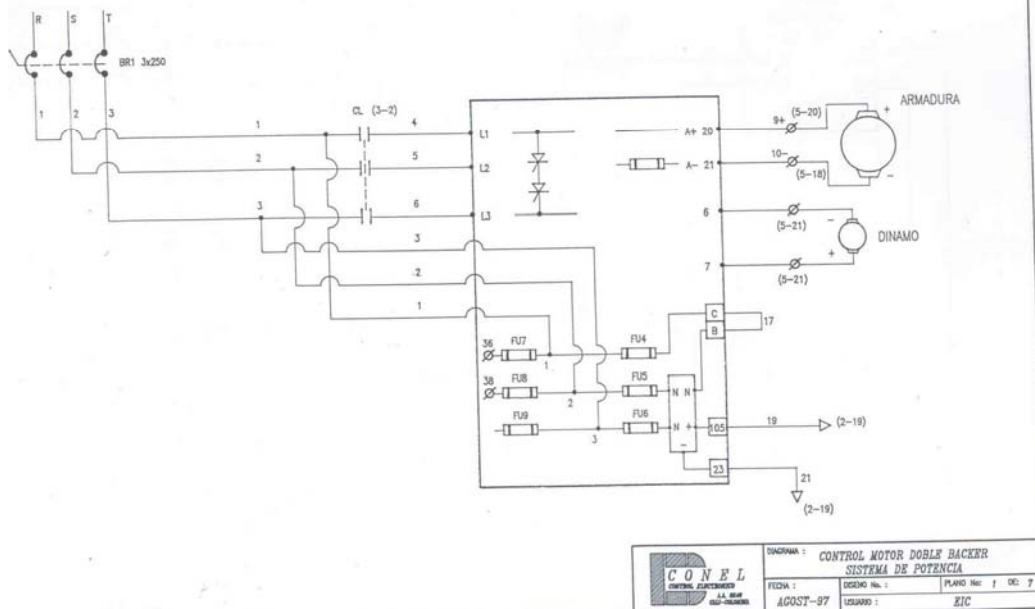
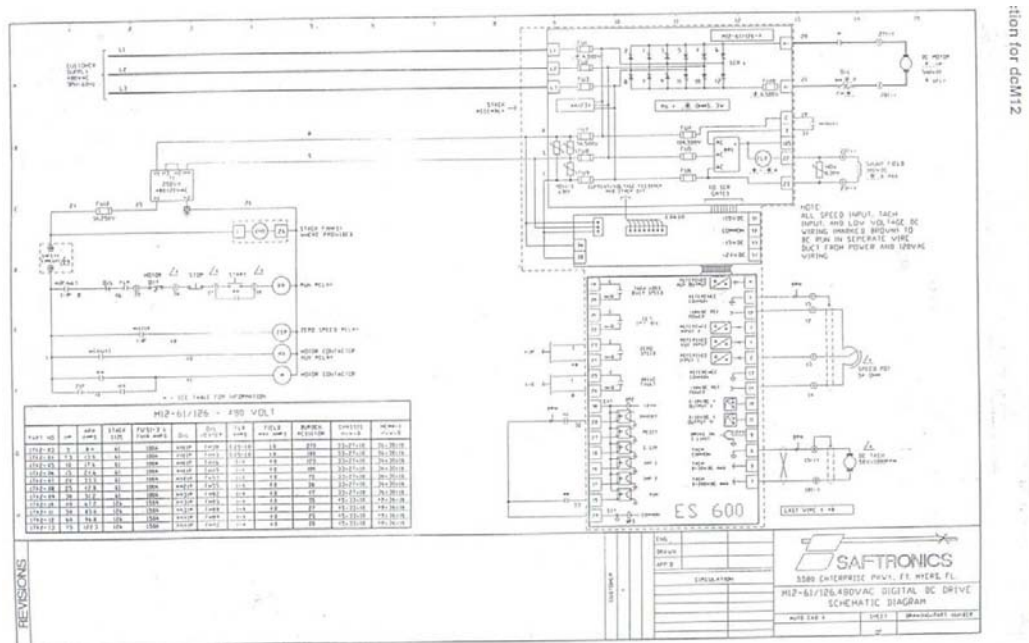
Sensor de Temperatura Infrarrojo

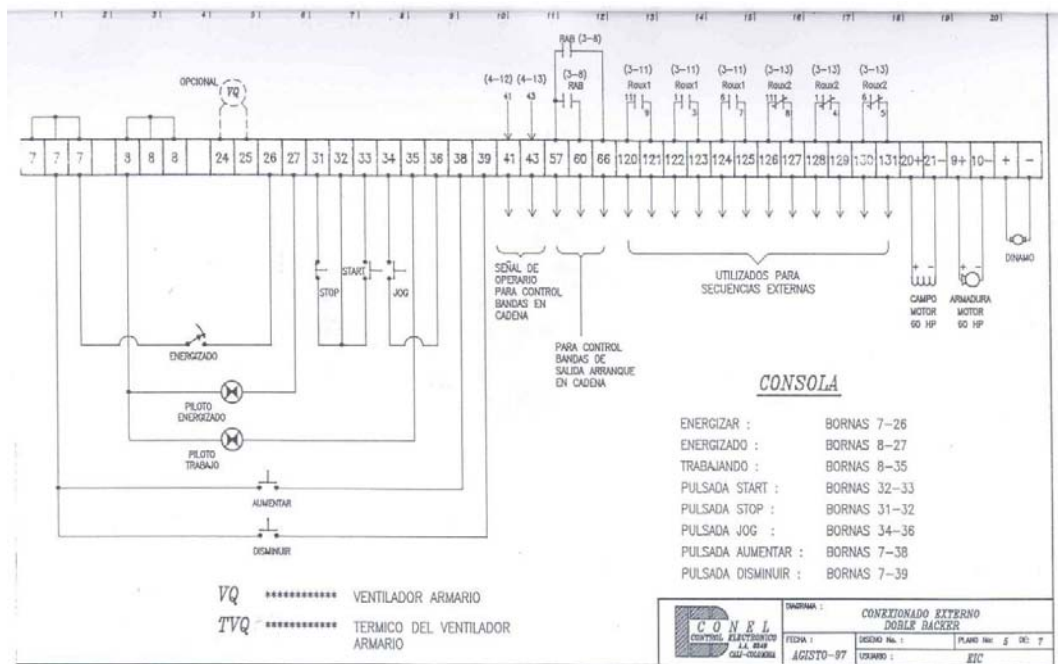
Sensor de Temperatura Infrarrojo																	
Center 350	Especificaciones Tecnicas																
	<p>Center 350 is an infrared thermometer. With the gun like shaping, users can aim to the measuring target just by instinct. It includes a laser indicator to reinforce the directional feeling. Celsius or Fahrenheit can be set through switch. Laser can be also be turn off through switch. DS ratio is 8:1.</p> <p>Features:</p> <ul style="list-style-type: none">• Simple one-handed operation.• Laser targeting.• LCD with back light.• °C/°F select switch.• Laser ON/OFF switch.• Auto-off.• HOLD function.• Resolution: 0.5°C; 0.5°F. <p>Specifications:</p> <ul style="list-style-type: none">• Range: -20~500°C. -4~932°F.• Accuracy: +/-2% or +/-2°C(3°F).• Distance to spot (D:S): 8:1.• Response time: 500m sec.• Emissivity: pre-set at 0.98. <p>Standard accessories:</p> <ul style="list-style-type: none">• 9V Battery.• Operation manual.• Carrying case. <p>Dimensions:</p> <table><tr><td>Height:</td><td>6.20"</td><td>(157.5</td><td>mm).</td></tr><tr><td>Width:</td><td>4.52"</td><td>(115</td><td>mm).</td></tr><tr><td>Depth:</td><td>1.41"</td><td>(36</td><td>mm).</td></tr><tr><td>Weight:</td><td colspan="3">7 oz (200 g)</td></tr></table>	Height:	6.20"	(157.5	mm).	Width:	4.52"	(115	mm).	Depth:	1.41"	(36	mm).	Weight:	7 oz (200 g)		
Height:	6.20"	(157.5	mm).														
Width:	4.52"	(115	mm).														
Depth:	1.41"	(36	mm).														
Weight:	7 oz (200 g)																

Anexo Q. Especificaciones técnicas del tacómetro digital

Tacómetro Digital		
MPD-10	Especificaciones Técnicas	
		
Model	TM-4000	TM-4010
Measuring range	30.0~30000.0rpm	30.0~30000.0 rpm 9.50~ 500.0 rps 3.00~ 3000.00 m/min 5.00~ 5000.00 cm/sec 9.8~ 9842.5 f/min 1.96~ 1968.50 inch/sec 3.28~ 3280.83 y/min
Resolution	0.1rpm	0.1rpm·f/min , others 0.01rpm
Accuracy	±0.01%±1digit rpm·f/min (Others ±0.05%±1digit including tolerance of conversion)	
Sampling Time	1.0~2.0 sec.	
Display	Display : 6 digital LCD Battery alarm :  mark display Reflective light input :  mark display	
	Unit of display : rpm	Unit of display : rpm , rps m/min , cm/sec f/min , inch/sec y/min 8 items memory number : M1~M8
Auto Power-Off	After 3 minutes from last measurement	After 3 minutes from last measurement
Data Hold time	Measurement Data : 3 minutes until Auto Power-Off	
		Memory data : Same as battery life
Measurement method	Contactless (Reflective Tape is used) In-Contact with Adaptor (Rubber Tip or Surface Speed Wheel is used)	
Measurement distance	50~300mm by Reflective Tape	
Power source	4 batteries (AAA 1.5V) Continuous measurement : 20 hours	
Operating Temperature	5~40℃	
Dimentions & Weight	122(H)×58(46)(W)×28(D)mm , 140g	

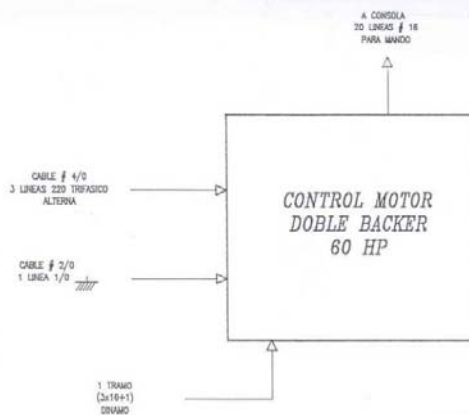
Anexo R. Planos eléctricos del corrugador



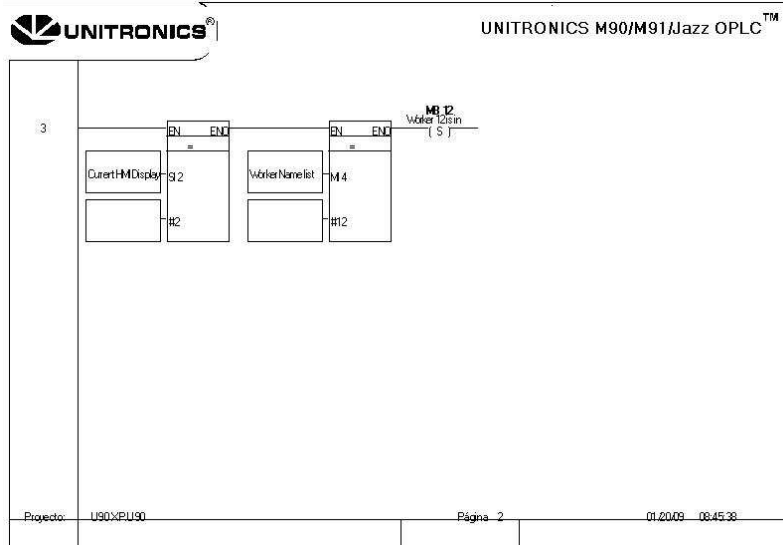
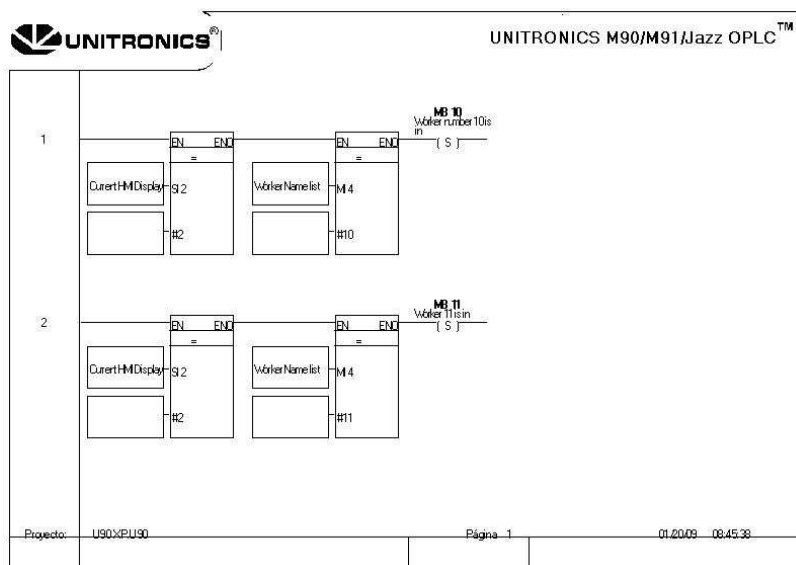


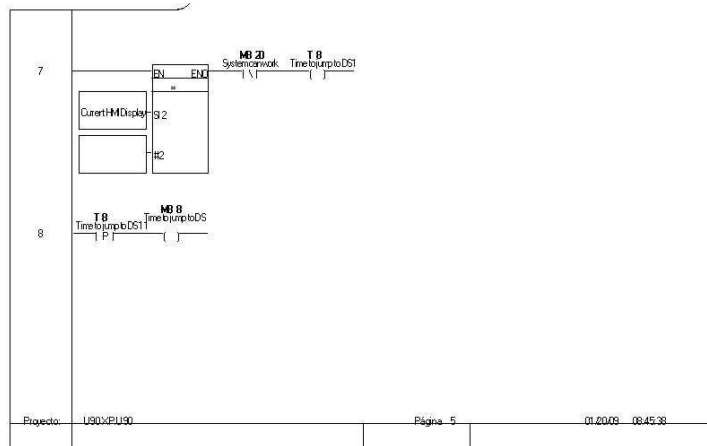
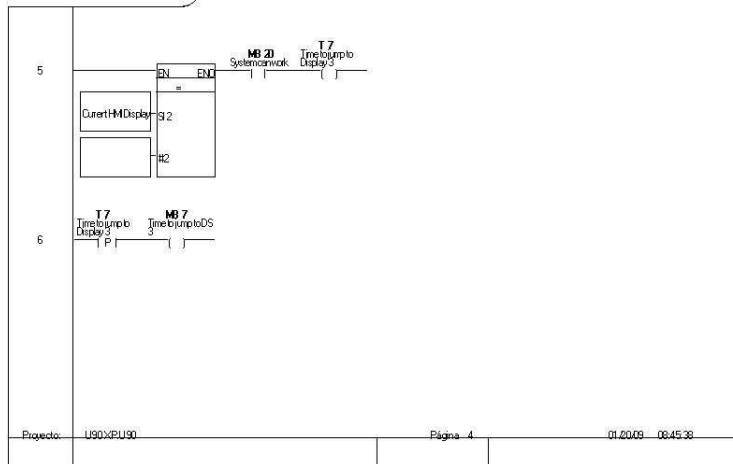
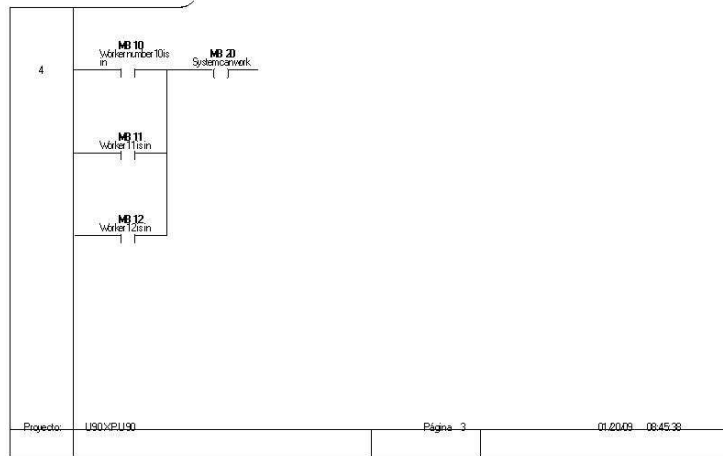
CONVENCIONES

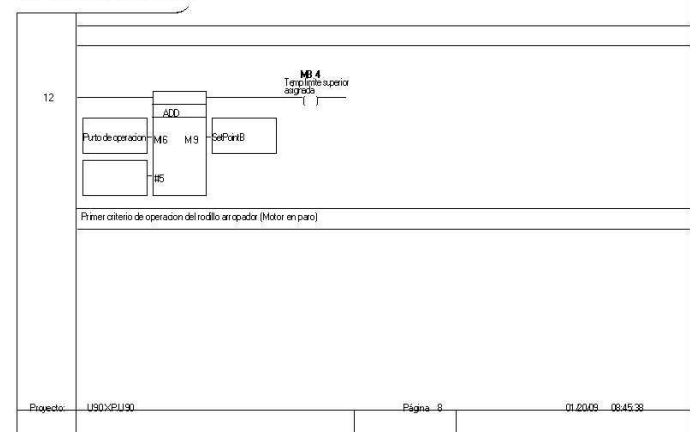
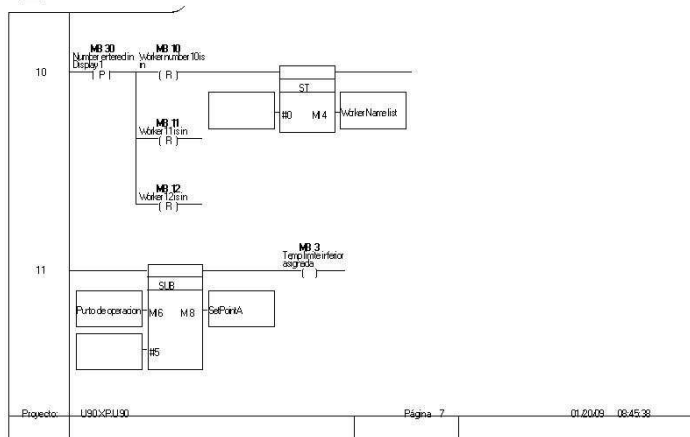
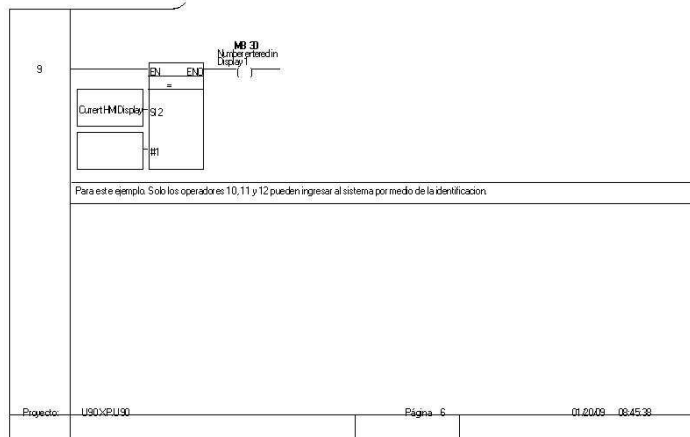
Bv1 :	BREAKER VARIADOR MOTOR 60 HP 3x250 AMP.
Bv2 :	BREAKER CONTACTOR VENTILADOR ARMARIO 2x1 AMP.
Bv3 :	BREAKER VENTILADOR VARIADOR Y CAMPO 1x2 AMP.
Bv4 :	BREAKER SECUENCIA ELECTRICA 2x3 AMP.
CL :	CONTACTOR DE LA LINEA
CVQ :	CONTACTOR VENTILADOR ARMARIO
TVQ :	TERMICO CONTACTOR VENTILADOR ARMARIO
RF :	RELE DE FALLA
Rjog :	RELE DE JOG
RAB :	RELE AUMENTAR BANDAS
RR :	RELE DE ARRANQUE
R1 :	RELE AUXILIAR 1
R2 :	RELE AUXILIAR 2
RI :	RELE HABILITAR ELECTRONICO
R aum:	RELE DE AUMENTAR VELOCIDAD
R dis :	RELE DE DISMINUIR VELOCIDAD

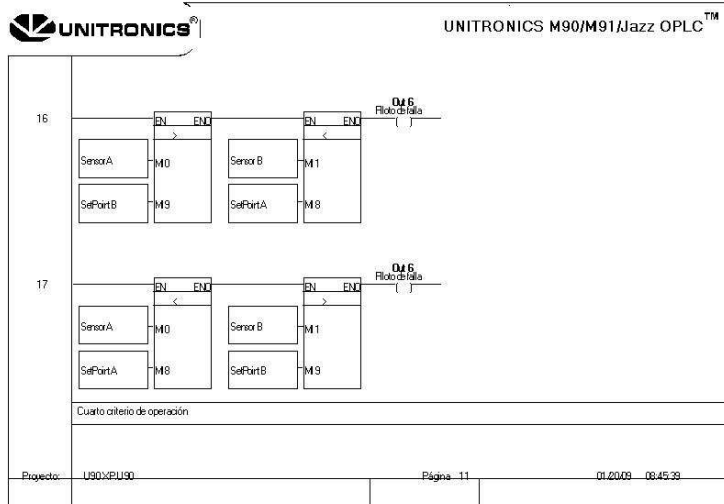
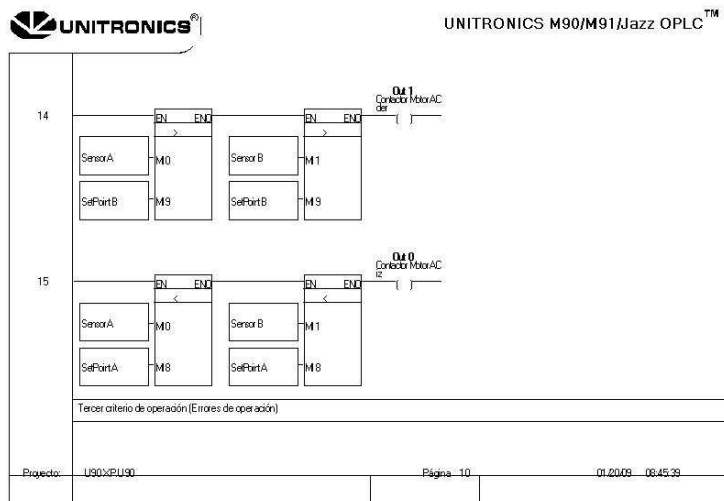
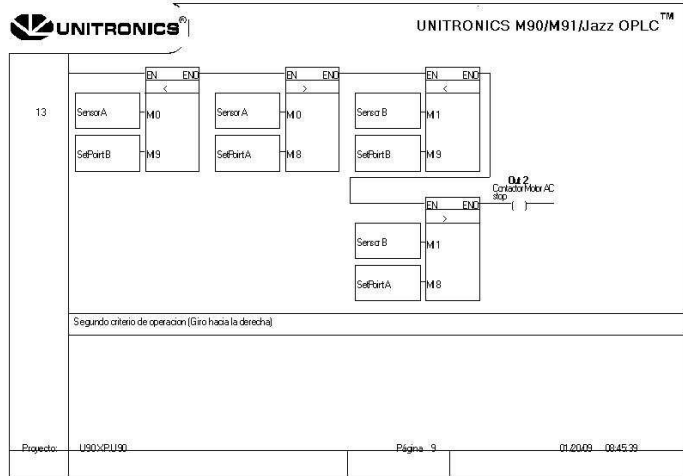


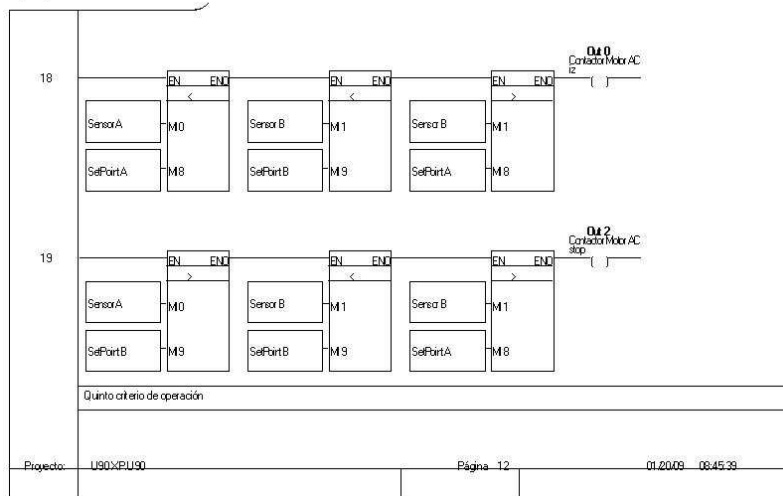
Anexo S. Lógica programada con unitronics











EN

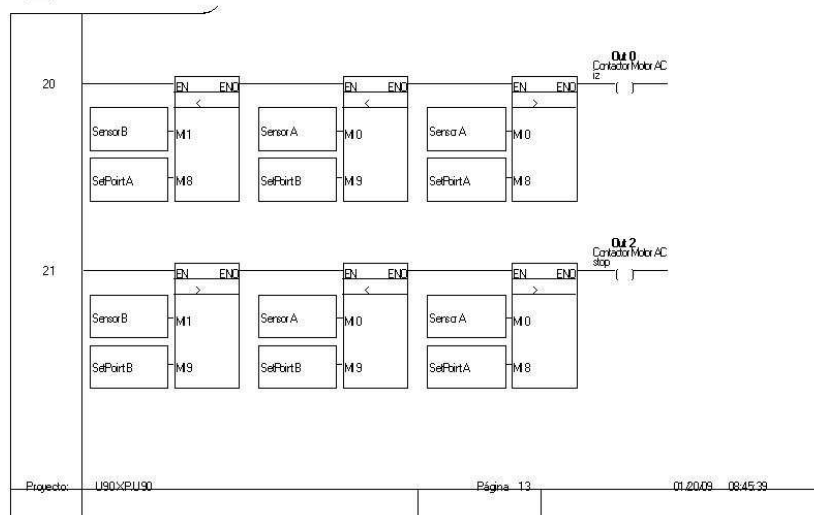
END

Sensor B

M1

SelfPort A

M8



EN

END

Sensor A

M0

SelfPort B

M9

EN

END

Sensor A

M0

SelfPort A

M8